

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Tietoliikennejärjestelmät

2011

Niklas Helander

PASSIIVISET KUITUVERKKORATKAISUT



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niklas Helander

PASSIIVISET KUITUVERKKORATKAISUT

Passiivinen kuituverkko koostuu kahdesta pääosasta. OLT eli Optical Line Terminal on verrattavissa kytkimeen aktiivisessa verkossa. OLT hoitaa kommunikoinnin asiakkaan päätelaitteen kanssa ja ulospäin esimerkiksi operaattorin metroverkkoon. OLT:llä pystytään määrittämään asetukset erikseen, jokaiselle asiakkaan päätelaitteelle. ONU eli Optical Network Unit on asiakkaan päätelaite, joka asennetaan ADSL-modeemin tavoin asiakkaan talouteen.

OLT:stä lähtevä signaali jaetaan käyttäen optisia jaoittimia tai suodattimia, jopa 64 ONU:lle yhden runkokuidun avulla. Aikajakoisessa järjestelmässä myös siirtokapasiteetti jakautuu, jokaista haaraa kohden. Tästä syystä suositeltava jakosuhte on kuitenkin yleensä 32, jotta siirtokapasiteetti yhtä tilaajaa kohden pysyisi hyvänä. Lisäksi pienemmällä jakosuhteella päästään vastaavasti kauemmas. 32-jakosuhteella päästään yleensä noin 20 km ja 64-jakosuhteella vastaavasti 10 km asti.

PON-tekniikoita toteutetaan kahdella eri peruserjaatteella, aikajakoisesti tai taajuusjakoisesti. Yleisimpiin aikajakoisiin tekniikoihin kuuluvat EPON ja GPON, joita myös parannellaan kokoajan. Uusin GPON-standardi on 10GPON, joka ylittää 10 Gbit/s downstream nopeuteen yhtä haaraa kohden. Taajuusjakoisen tekniikan standardointi on vielä käynnissä, mutta saatavilla on jo useita toimivia ratkaisuja. Taajuusjakoisessa järjestelmässä, jokaisella tilaajalla on mahdollisuus esimerkiksi 1 Gbit/s nopeuteen, toisista tilaajista riippumatta. Taajuusjakoisen järjestelmän haittapuolena on ainakin toistaiseksi sen korkea hinta.

Passiivisen verkon rakentaminen tuli laskelmien mukaan aktiivista verkkoa noin 30 % halvemmaksi. Aluekeskitimen rakentamisen ja käytön osalta syntyy huomattavin säästö. Itse verkon rakentaminen tulee myös halvemmaksi, mikäli on mahdollista sijoittaa passiiviset aluekeskitimet lähemmäs asiakasta. Silloin saadaan syöttö- ja tilaajakaapelit lyhyemmäksi ja kustannukset pienenevät. Aktiivilaitteiden hyvänä puolena on pienet aloituskustannukset, mikäli asiakkaita on aluksi vain muutamia.

AVAINSANAT: Tietoliikenneverkot, Valokuidut, Passiivinen verkko, Optinen verkko

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Electronics | Communications Systems

2011

Juha Nikkanen, Principal lecturer and Janne Jalava System engineer

Niklas Helander

PASSIVE OPTICAL NETWORK SOLUTIONS

There are two main parts in Passive Optical Network. Optical Line Terminal (OLT) can be compared to a normal switch used in active networks. OLT manages communications with client terminals and it is usually connected directly to an operator's metro-net. OLT can be used to configure different settings to all client terminals. Client terminal is called Optical Network Unit (ONU) and it can be installed pretty much like a normal ADSL modem.

The signal transmitted from OLT is divided in the field by using optical splitters up to 64 ONUs. In time divided system capacity gets divided between clients. Therefore the recommended split is usually 32 to ensure a good bandwidth to all clients. A smaller split also gives the connection more range. With 32-split the connection can be up to 20 km and 64-split only up to 10 km.

There are two basic PON techniques, time division multiplexing and wavelenght division multiplexing. The most used TDM techniques are EPON and GPON. The latest GPON standard is 10GPON or XGPON, which reaches up to a 10 Gbit/s downstream speed. The standard for WDM technique is not complete yet, but there are several working systems available already. With WDM technique every client can get a 1 Gbit/s speed since the bandwidth is not shared with other clients like in TDM-PON. A downside of WDM-PON is still a relevantly high price.

Building a passive network becomes cheaper than building anactive network overall. There is no need of building so many active device hubs. This allows also a better control and administration of the network with fewer active switches. On the other hand, active switches allow you to expand your network more cheaply in case there is not many clients in the area.

KEYWORDS: Optical Network, Passive Network, Optical Fibers

LYHENTEET:

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AON	Active Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Arrayed Waveguide Grating
AWL	Automatic Wavelength Locking
BLS	Broadband Light Source
BRI	Basic Rate Interface
CWDM	Coarse Wavelength-Division Multiplexing
DFB	Distributed Feedback Laser
DVB-C	Digital Video Broadcasting Cable
DWDM	Dense Wavelength-Division Multiplexing
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
FTTH	Fiber to the Home
GEM	GPON Encapsulation Method
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector
LLID	Logical Link Identification
KTV	Kaapelitelevisio
MAC	Multi-Point Medium Access Control
MPCP	Multi-Point Control Protocol
OLT	Optical Line Termination
OMCI	ONT Management & Control Interface
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit

P2P	Point to Point
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephone Service
PRI	Primary Rate Interface
RIN	Relative Intensity Noise
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
TC	Transmission Convergence
TCP	Transmission Control Protocol
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength-Division Multiplexing
WLAN	Wireless Local Area Network
TDM	Time-Division Multiplexing

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 OPTISEN VERKON RAKENNE JA PÄÄKOMPONENTIT	2
2.1 Rakenne	2
2.2 Valokaapelit	3
3 AKTIIVINEN OPTINEN VERKKO	4
3.1 Rakenne ja ominaisuudet	4
3.2 Active Ethernet	5
3.3 Metro-Ethernet	5
4 PASSIIVINEN OPTINEN VERKKO	6
4.1 Passiivisen verkon tärkeimmät rakenneosat	7
4.1.1 Optical Line Terminal	7
4.1.2 Optical Network Unit	7
4.1.3 Optinen tehojaotin	9
4.1.4 AWG-suodatin	9
4.2 TDM-PON	11
4.2.1 APON	11
4.2.2 BPON	11
4.2.3 GPON	13
4.2.4 EPON	16
4.3 WDM-PON	19
4.3.1 Rakenne ja ominaisuudet	19
4.3.2 Automaattinen aallonpituuden lukitus	22
5 PASSIIVISEN JAKELUVERKON TOTEUTTAMINEN	23
5.1 Keskitin	25
5.2 Jakamo	25
5.3 Esimerkkilaskelma linkkibudjetista	27
5.4 Kustannukset	31
6 YHTEENVETO	35

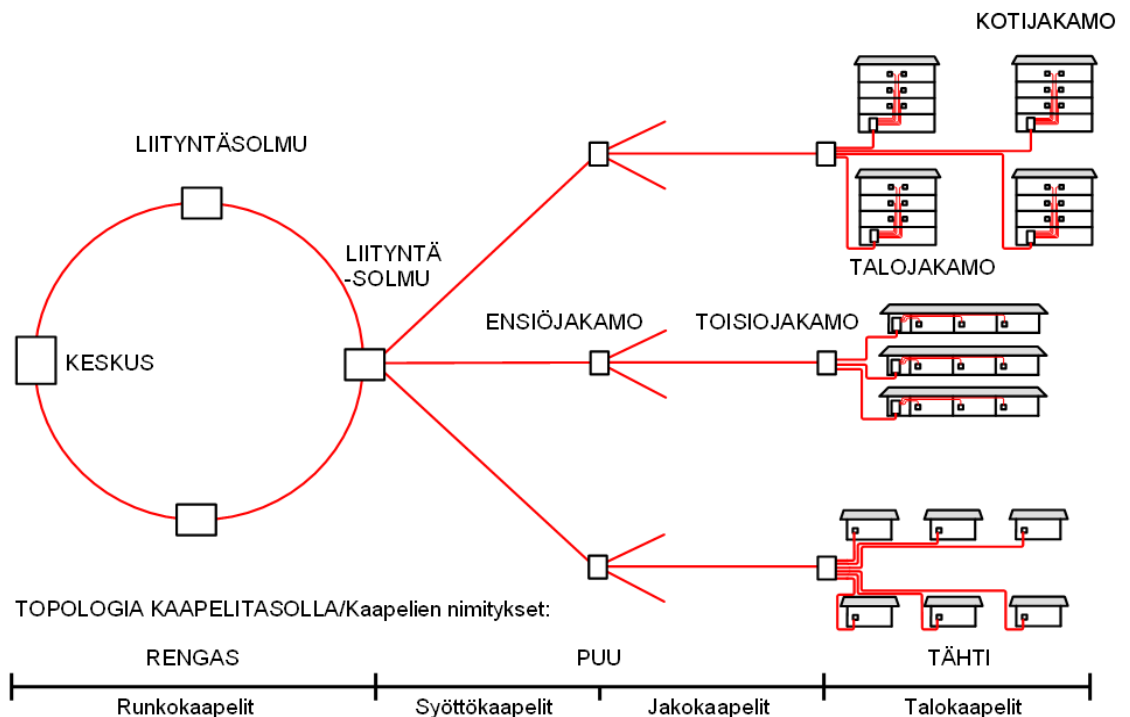
1 Johdanto

Tietoliikenneyhteyksien nopeudet ja kuitujen määrät nousevat jatkuvasti. Tästä syystä mm. kuitupaneelikytkennät alkavat viedä paljon arvokasta tilaa keskittimiltä. Tämä on pakottanut operaattorit miettimään erilaisia ratkaisuja kuituverkkojen toteuttamiseen, jotta tilaajille saataisiin jatkossakin toimitettua mahdollisimman edullisesti tietoliikennepalveluita. Aktiivinen optinen verkko on tuttu ja turvallinen tapa rakentaa liityntäverkkoja, mutta silti halutaan tutkia mahdollisesti edullisempia ratkaisuja. Passiivisten tekniikoiden kehityttyä yhä paremmiksi ne ovat alkaneet kiinnostaa operaattoreita yhä enemmän mahdollisena verkkoratkaisuna. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Paraisten Puhelin Oy:lle passiivisen verkon kustannuksia, hyötyjä ja haittoja aktiiviseen verkkoon verrattuna. Tarkoituksena on myös suunnitella verkkoratkaisu Paraisten alueelle käyttäen passiivista tekniikkaa. Opinnäytetyössä käsitellään yleisimpiä passiivisia liityntäkuituverkkotekniikoita ja verrataan niitä aktiivisiin ratkaisuihin. Työssä selvitetään, mikä on aktiivinen kuituverkko ja mitkä ovat sen edut ja vastaavasti huonot puolet verrattuna passiivisiin kuituverkkoihin. Passiiviseen tekniikkaan perehdytään käymällä läpi PON-verkossa käytettävät passiiviset komponentit, passiivisen verkon rakenne ja tutustutaan TDM- ja WDM-ratkaisuihin. Lisäksi otetaan selvää passiivisen järjestelmän kustannuksista ja toiminnasta. Lopuksi käydään läpi liityntäverkon toteuttaminen käytännössä käyttäen passiivista verkkorakennetta.

2 Optisen verkon rakenne ja pääkomponentit

2.1 Rakenne

Optisen verkon rakenne koostuu liityntäverkosta, niitä yhdistävästä runkoverkosta ja tilaajan sisäverkosta (kuva 2.1). Runkoverkossa pyritään käyttämään rengastopologiaa, joka mahdollistaa varmistetun yhteyden vikatilanteiden, kuten kuidun katkeamisen varalta. Tällöin yhteys pääsee läpi vielä renkaan toista kautta. Liityntäverkko liitetään runkoverkkoon usein runkokytkimellä, johon pystytään liittämään tilaajayhteyksiä varten esimerkiksi yksi tai useampi kytkin tai OLT eli Optical Line Terminal passiivista verkkoa käytettäessä. Ensio- ja toisiojakamoilla saadaan haaroitettua verkkoa vaiheittain, mikä mahdollistaa esimerkiksi syöttökaapeliin pituuden optimoinnin. Talojakamossa yhdistetään liityntäverkko talon sisäverkkoon. Talon sisäverkko voi olla toteutettu joko kuitu- tai kuparikaapeloinnilla. [1]



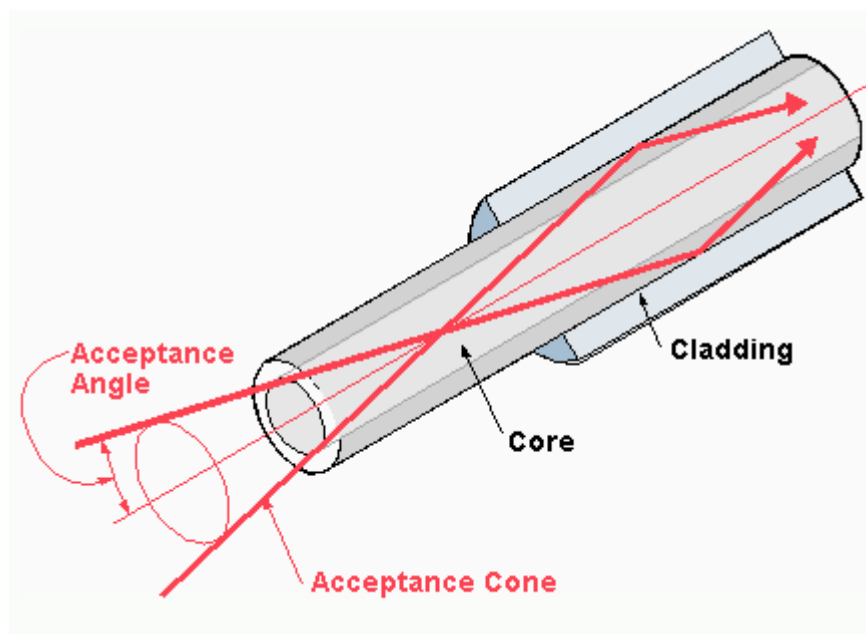
Kuva 2.1 Optisen verkon rakenne [1]

2.2 Valokaapelit

Valokaapeli eli optinen kuitu on alkanut yleistyä ja korvata perinteisiä kupariverkkoja tietoliikennekäytössä.

Itse valokuitu koostuu kolmesta perusosasta (kuva 2.2). Valosignaali kulkee kuidun sisemmässä osassa eli ytimessä (engl. core). Ytimen päällä on kuori (engl. cladding). Ydin ja kuori ovat molemmat lasia. Sen lisäksi kuidut päällystetään vaipalla (engl. jacket), joka koostuu yhdestä tai useammasta kuitua suojaavasta polymeerikerroksesta.

Valosignaali etenee optisessa kuidussa perustuen valon kokonaisheijastukseen kuoren ja ytimen rajapinnassa. Kokonaisheijastus saadaan aikaan, kun tehdään kuoren taitekertoimesta noin 1 % pienempi kuin ytimen. Tämän seurauksena valo pysyy ytimessä, eikä absorboitu kuidun vaippaan. Mikäli valon tulokulma ytimestä kuoreen ylittää ns. kriittisen kulman, valo ei heijastu takaisin ytimeen vaan absorboituu vaippaan. Tämän vuoksi kuitua ei saa myöskään taivuttaa liikaa. [2,3]



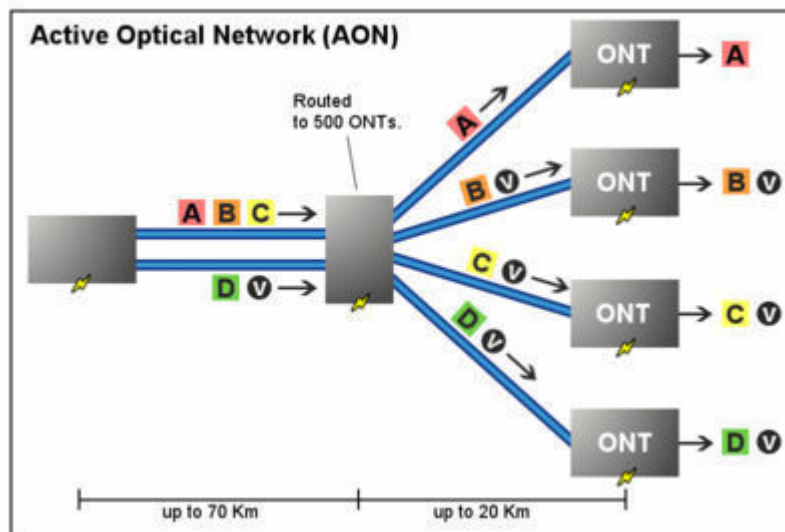
Kuva 2.2 Kuidun rakenne ja valon eteneminen kuidussa [4]

3 Aktiivinen optinen verkko

Active Optical Network eli AON on Point to Point -tekniikka (P2P), jossa jokaiselle tilaajalle on varattu oma kuitu. Tämä mahdollistaa miltei rajattoman siirtonopeuden operaattorin ja tilaajan välillä. Nopeutta rajoittavat käytännössä ainoastaan linkissä käytetty optinen tekniikka ja kuidun fyysiset ominaisuudet. [2]

3.1 Rakenne ja ominaisuudet

Aktiivisen optisen verkon periaatteellinen rakenne on esitetty kuvassa 3.1, jossa A, B, C ja D kuvaavat tilaajalle tarkoitettuja paketteja. V tarkoittaa vain myötäsuuntaan siirrettävää signaalia, kuten esimerkiksi kaapeli-TV. [5]



Kuva 3.1 Aktiivisen optisen verkon periaatteellinen rakenne. [5]

Signaalin jakamiseen tilaajille käytetään aktiivisia, sähköä tarvitsevia laitteita, kuten kytkimiä, reitittäjiä ja multipleksereitä. Tietoturva on P2P-rakenteen takia joitain passiivisia verkkoja paremmalla tasolla. Jokainen operaattorilta lähetty signaali menee ainoastaan sille tilaajalle, jolle se on tarkoitettu, sillä tilaajat on

fyysisesti erotettu toisistaan. Siitä takia se on hyvä verkkorakenne turvattuja yhteyksiä rakentaessa. [2,5]

Point to Point -rakenteen takia kuituja on kytkimeltä asti vähintään yksi tilaajaa kohden, mutta Suomen Viestintäviraston suosituksen mukaan kuituja tulisi kuitenkin olla ainakin 2 omakotikiinteistöä kohden ja 12 suurempiin kiinteistöihin. Tämä tarkoittaa suuria määriä kuituja, joiden takia keskittimille syntyy massiivisia kuitupaneelikytkentöjä. Verkon rakenteen takia lähetinlaitteissa on jokaista tilaajaa kohden oltava myös oma laser. Signaalin jakeluun käytetyt aktiiviset laitteet kuluttavat koko ajan sähköä. Näistä syistä laitteiden hankinta- ja etenkin ylläpitokustannukset nousevat. Kuitujen suuren määrän vuoksi yhden kaapelin korjaaminen voi olla hyvin työlästä, hidasta ja kallista. Osittain näistä syistä maissa, joissa asukastiheys on korkea, on jo siirrytty käyttämään ainakin osittain passiivista tekniikkaa. [2,5,1]

3.2 Active Ethernet

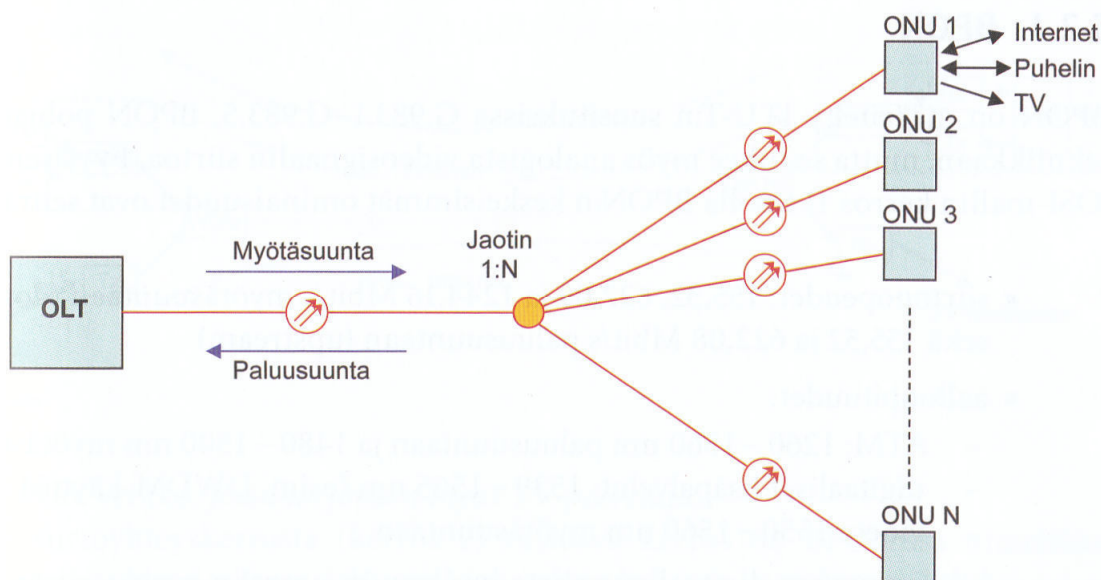
Yleisin käytetty AON-tekniikka on Active Ethernet, jossa käytetään optisia Ethernet-kytkimiä signaalin jakamiseen tilaajille. Tällä hetkellä useimmat operaattorit tarjoavat tällä tekniikalla 100 Mbit/s FTTH-yhteyksiä (Fiber To The Home), sillä nopeammilla yhteyksillä, kuten 1 Gbit/s, ei toistaiseksi ole kuluttajakäytössä paljon kysyntää ja tarvetta. [2, 5]

3.3 Metro-Ethernet

Metro-Ethernet on rakenteeltaan rengasmainen runkoyhteys, jossa yhteys kuljetetaan takaisin alkupisteeseen liityntäsolmujen kautta. Kuituja on kaksi, toinen on myötäsuuntaa ja toinen paluusuuntaa varten. Rengasmaisen rakenteen ansiosta kuidun katketessa yhdestä kohtaa yhteys ei katkea vaan kytkimet osaavat ohjata paketit perille renkaan toista kautta. Tätä rakennetta käytetään usein operaattorien runkoverkoissa. [1]

4 Passiivinen optinen verkko

Passive Optical Network eli PON on Point to Multipoint -tekniikka. PON-verkon periaatteellinen rakenne on esitetty kuvassa 4.1. Ideana on toimittaa mahdollisimman monelle tilaajalle yhteys yhdellä jako- tai syöttökuidulla. Operaattorin keskuksessa tai liityntäsolmussa on OLT eli Optical Line Terminal. OLT:ssä jokaista runkokuitua kohden on vain yksi laser. OLT:stä tilaajille lähtevä runkokuitu jaetaan aktiivisten kytkinten sijaan käyttäen passiivisia optisia jaottimia (TDM-tekniikka) tai optisia suodattimia (WDM-tekniikka) jopa 64 tilaajalle. Tilaajan päässä on tilaajapääte laite, ONU eli Optical Line Unit, joka kommunikoi OLT:n kanssa. Passiiviset verkkokomponentit eivät tarvitse sähköä ja huoltamista, joten niistä syntyviä käyttökustannuksia ei käytännössä ole. Ainoat aktiivilaitteet verkossa ovat OLT ja tilaajapääte laitteet. OLT:sta ja tekniikasta riippuen rajoittavana tekijänä tilaajien määrälle yhtä runkoyhteyttä kohden ovat välimatka ja kaistan tarve. Suotava etäisyys OLT:ltä ONU:lle tekniikasta riippuen on yleensä noin 20km. [2]



Kuva 4.1 PON-verkon periaatteellinen rakenne. [2]

4.1 Passiivisen verkon tärkeimmät rakenneosat

Tässä kappaleessa käydään läpi passiivisen verkon tärkeimmät rakenneosat ja tutustutaan niiden ominaisuuksiin.

4.1.1 Optical Line Terminal

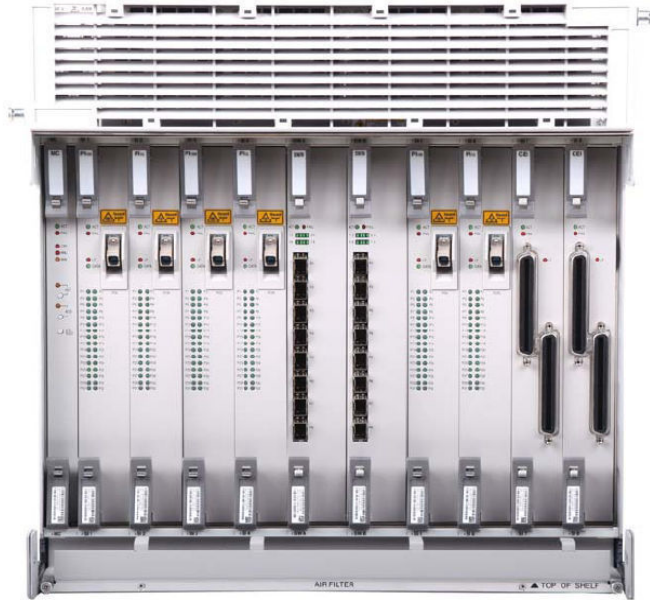
Optical Line Terminal eli OLT (kuva 4.2 ja 4.3) on PON-järjestelmän keskeisin osa. Se on aktiivinen laite ja toimii jakelukeskuksena asiakaspäätelaitteille. Normaalisti jakosuhteesta ja teknisistä ominaisuuksista riippuen OLT voidaan sijoittaa 20 km päähän asiakaspäätteestä. Käytettäessä tehokkaampia lasereita voidaan päästä jopa 40 km päähän. Yleensä OLT:ssä on hallintaohjelma, jolla pystytään muokkaamaan tilaajayhteyden tasoa ja palveluita. Tätä ominaisuutta kutsutaan myös provisioinniksi.

OLT:n rakenne koostuu yleensä kehikosta ja siihen lisättävistä osista, joita ovat esimerkiksi virtalähde, laitteen ohjaus-moduuli, yksi tai useampi uplink-kortti ja PON-kortit. Lisäksi kehikossa on yksi tai useampi WAN-kortti (Wide Area Network) laitteen liittämiseksi esimerkiksi metro-ethernet-verkkoon. Tilaajamäärää saadaan laajennettua lisäämällä kehikkoon lisää PON-moduuleita. Kehikosta riippuen kehikon maksimi on yleensä neljästä kahteentoista moduulia, tosin suurempiakin kehikkoja on tarjolla. Yhdessä PON-modulissa saattaa olla useampi PON-liitäntä. Jokaiseen liitäntään pystytään kytkemään jopa 64 tilaajaa. [2,6,7]

4.1.2 Optical Network Unit

Optical Network Unit eli ONU (kuva 4.4) on passiivisen verkon tilaajapääte, jota voi verrata esimerkiksi ADSL-modeemiin tai ethernet-pohjaiseen kuitupäätelaitteeseen. Niitä on saatavilla useita erilaisia sisä- tai ulkoasennukseen. Mallista riippuen ONU:sta voi löytyä lisäominaisuutena esimerkiksi langaton WLAN-tukiasema ja POTS-portit analogisia puhelimia varten. ONU:ja on saatavana myös rivi- ja kerrostaloihin. Tällaisella ONU:lla on mahdollista jakaa PON-yhteys eteenpäin talojakamosta huoneistoihin.

Useimpien valmistajien suositus on käyttää saman valmistajan ONU:a ja OLT:tä yhteensopivuuden takaamiseksi. [2,8]



Kuva 4.2 LG-Nortel EA1100 (WDM-ONT) [7]



Kuva 4.3 Motorola AXS1800 (GPON-ONT) [6]



Kuva 4.4 Erilaisia ONU-päätelaitteita [8]

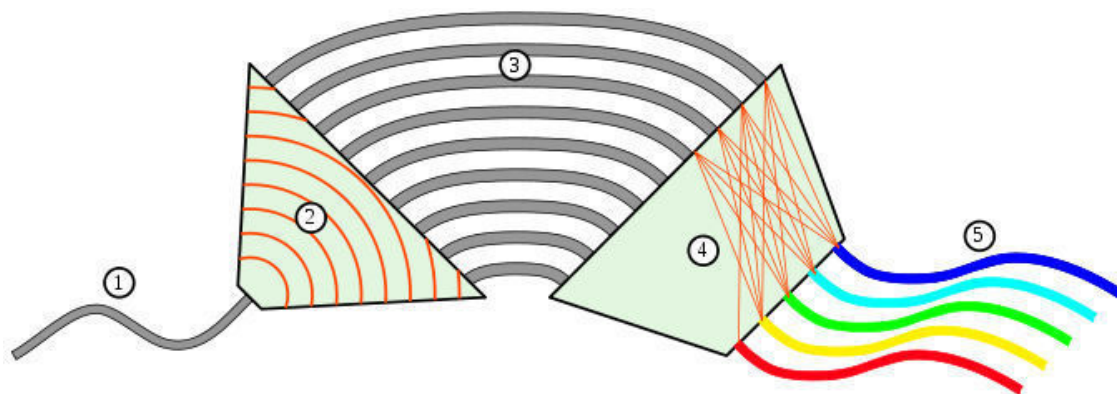
4.1.3 Optinen tehojaotin

Optinen jaotin (engl. Optical Power Splitter) on täysin passiivinen komponentti, eikä siis tarvitse virtaa toimiakseen. Toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen, jaotin jakaa sen sisääntuloon tulevan valotehon kaikkiin ulostuloihin. Ideaalisessa tapauksessa valoteho säilyy samana, kun lasketaan kaikkien lähtöjen valotehot yhteen. Käytännössä tämä ei kuitenkaan toteudu vaan tehohäviötä tapahtuu. Lähdöstä tulevan valotehon suuruus määräytyy lähtöjen määrän mukaan. Esimerkiksi jaotin kahdella lähdöllä vaimentaa signaalia noin 3-4 dB. Jaottimia käytetään esimerkiksi KTV:n kanssa ja TDM-pohjaisissa PON-tekniikoissa. [8]

4.1.4 AWG-suodatin

AWG-suodattimen (engl. Arrayed Waveguide Grating) (kuva 4.5) avulla suoritetaan aallonpituuksien multipleksaus tai demultipleksaus ONT:n ja ONU:n välillä WDM-PON-järjestelmässä. Suodatin on täysin passiivinen komponentti eikä se vaadi virtaa toimiakseen. AWG:n toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.1.4.1. Valo (1) kohtaa vapaan tilan (2) ja siirtyy kuituihin tai aaltoputkeen. (3). Kuidut ovat erimittaisia ja synnyttävät eri vaihesiirtymän. Kun valo on

kulkeutunut kuitujen läpi, se siroaa kuiduista taas vapaaseen tilaan (4). Yksittäinen aallonpituus keskittyy yhteen uloslähtöön (5), jolloin kaikista ulostuloista saadaan ulos vain haluttu aallonpituus. [5,7]



Kuva 4.5 AWG-Suodattimen toimintaperiaate [5]

WDM-PON:ssa käytettävää suodatinta ei ole vielä standardoitu, joten sitä löydy aivan joka valmistajalta. Standardoinnin valmistuttua WDM-PON-yhteensopivia suodattimia alkaa vähitellen saada useammilta komponenttivalmistajilta. Suodattimia on kuitenkin jo nyt markkinoilla muutaman yhtiön toimesta ja niihin on saatavana erilaisilla asennuskoteloilla varustettuina, kuten kaappi, kaivo ja tolppa-asennukseen (ks. kuva 4.6).



Kuva 4.6 Erilaisia WDM-PON:ssa käytettäviä AWG-suodattimia [7]

4.2 TDM-PON

TDM-PON on passiivinen tekniikka, joka perustuu aika-jakoiseen lähetykseen ja vastaanottoon (Time-division Multiplexing). Runkokuidun jakaminen tapahtuu käyttämällä passiivisia jaottimia, joita voidaan sijoittaa mihin tahansa OLT:n ja ONU:n välille. Jaottimia käytettäessä operaattorilta tilaajalle lähetetyt signaalit menevät kaikille samassa runkokuidussa oleville tilaajille asti. Tilaajapäätelaite tunnistaa näistä signaaleista ne, jotka ovat tarkoitettu sille. Tämän takia on teoriassa mahdollista nähdä, mitä dataa muut samassa runkokuidussa olevat ONU:t vastaanottavat. Runkokuidun kapasiteetti jakautuu kaikkien käyttäjien kesken. Yleensä OLT:llä pystytään provisioimaan tilaajayhteyksiä eli esimerkiksi määrittämään asiakkaiden yhteyden tasoa ja palveluita.

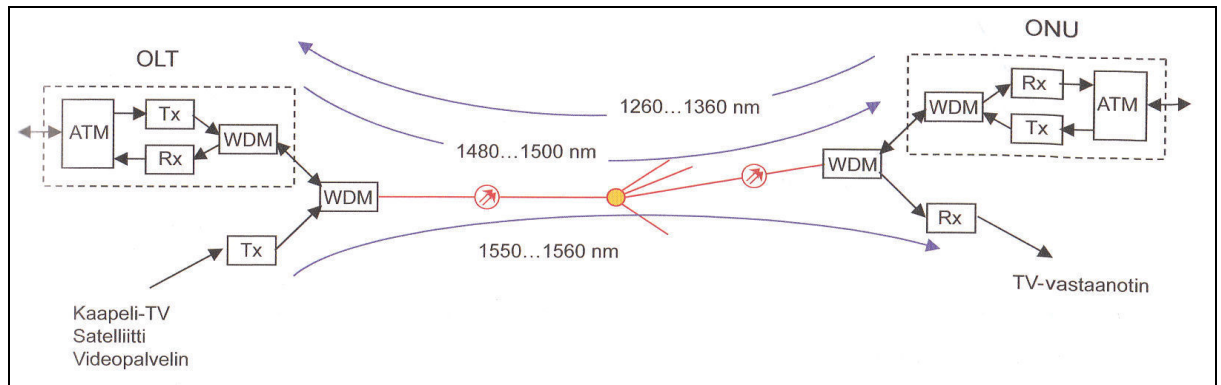
TDM-PON-tekniikka on eniten käytetty ja kehitetty, jonka seurauksena siitä on jo useita valmiita standardeita, APON, BPON, EPON, GPON, 10EPON. Edellä mainitut ovat ITU-T:n standardoimia PON-verkkoja, paitsi EPON ja 10EPON, joka on määritelty IEEE:n standardeissa. [2,9]

4.2.1 APON

APON eli ATM-PON on ensimmäinen valmistunut PON-standardi, jota käytettiin enimmäkseen kaupallisissa sovelluksissa ja perustui ATM-tekniikkaan. APON on vanhentunut standardi ja täysin korvautunut BPON:lla. [2]

4.2.2 BPON

BPON eli Broadband PON standardi on määritelty ITU-T suosituksissa G.983.1-G983.5. BPON on paranneltu versio APON:sta ja se perustuu myös ATM-tekniikkaan. Se mahdollisti ensimmäisen kerran OMCI:n käytön (ONT Management Control Interface). APON ja BPON eivät tue esimerkiksi ethernet-kehysten siirtoa ilman monimutkaisia muutoksia protokollaan. BPON verkkorakennetta on mahdollista käyttää analogisen videosaatteen siirtoon. Periaate on esitetty kuvassa 4.7.[2]



Kuva 4.7 BPON-verkon periaate tapauksessa, jossa ATM-kehysten lisäksi siirretään analogisia tai digitaalisia (DVB-C) TV palveluja. [2]

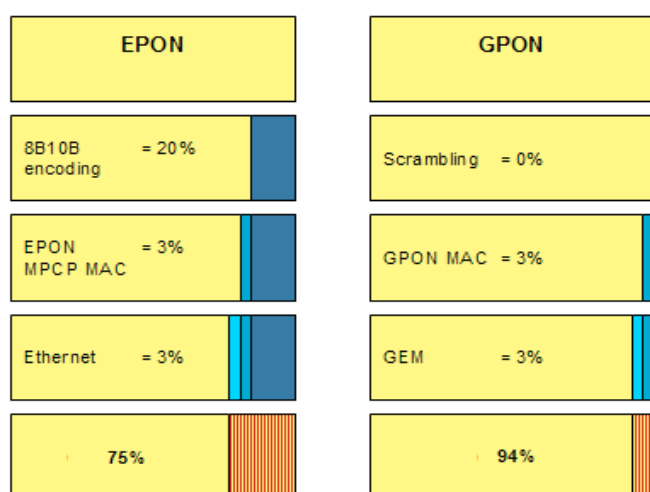
Fyysisen kerroksen (OSI-mallin kerros 1) tasolla BPON:n tärkeimmät ominaisuudet ovat [1]:

- siirtonopeus: 155,52, 622,08 ja 1244,16 Mbit/s myötäsuuntaan ja 155,52 ja 622,08 Mbit/s paluusuuntaan
- aallonpituudet:
 - ATM käyttää 1260–1360 nm paluusuuntaan ja 1480–1500 nm myötäsuuntaan
 - mahdolliset digitaaliset lisäpalvelut 1539–1565 nm (esim. DWDM)
 - video 1550–1560 nm (esim. KTV-palvelut)
- liikennetyypit: digitaalinen siirto myötä- sekä paluusuuntaan ja videosiirto myötäsuuntaan
- jakosuhte: enintään 32 riippuen verkon kokonaisvaimennuksesta
- passiivisen verkon vaimennus OLT:n ja ONU:n välillä, mukaan lukien kaikki vaimentavat tekijät:
 - Class A: 5–20 dB (ITU-T luokkastandardi class A, ei määritelty BPON-standardissa)
 - Class B: 10–25 dB
 - Class C: 15–30 dB
- maksimietäisyys: 20 km [2]

4.2.3 GPON

GPON eli Gigabit-capable PON on BPON-tekniikan pohjalta kehitetty universaali PON-tekniikka, joka tukee lukuisia digitaalisia sovelluksia ja on siksi monipuolinen. GPON on määritelty ITU-T:n standardissa (ITU-T G.984.1-G.984.3). Uudempi versio on 2010 valmistunut 10GPON-standardi (ITU-T G.987), joka on nopein kaikista tällä hetkellä standardoiduista TDM-PON-tekniikoista. Sen suurin ero normaaliin GPONiin nähden on nopeus, joka on 10 Gbit/s downstream ja 2,5 Gbit/s upstream. Myös 10 Gbit/s upstream olisi mahdollinen, mutta tämä nostaisi asiakkaan päätelaitteen hintaa huomattavasti.

GPON on määritelty vain digitaalisille sovelluksille, mutta myös analogisen videokuvan siirtäminen on mahdollista samoilla periaatteilla kuin BPON:ssa (kuva 4.7). Riippuen verkon kokonaisvaimennuksesta, GPON-tekniikalla pystytään yhden runkokuidun avulla palvelemaan jopa 64 ONU:a. Näin suuri jakosuhte ei tosin ole suositeltavaa, koska siirtonopeus yhtä tilaajaa kohden kärsii. Maksimietäisyys on standardissa määritelty 20 km, mutta tehokkaampia lasereita käytettäessä päästään jopa 40 km päähän ilman erillisiä vahvistimia. GPON:n etuna on myös hyvä efektiivisen kaistan osuus, joka on 94 % meno- ja paluusuuntaan (kuva 4.8). [2,6]

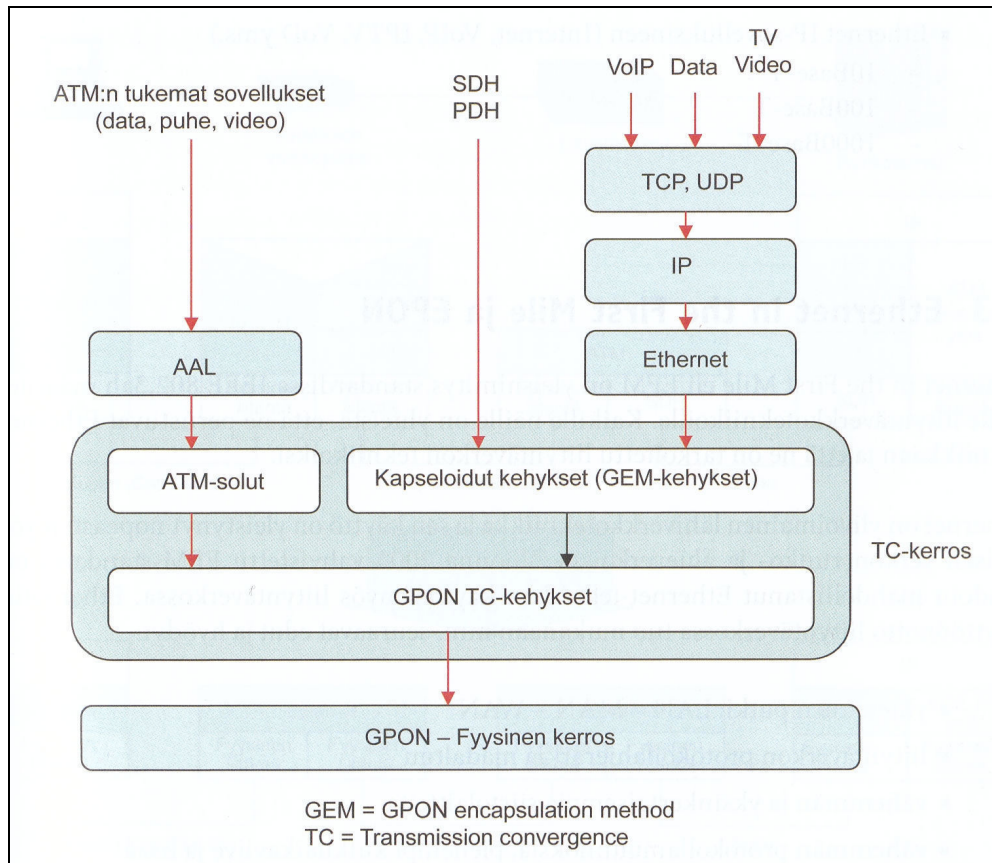


Kuva 4.8 Efektiivisen downstream-kaistan osuus GPON:ssa ja EPON:ssa [10]

Fyysisellä kerroksella (OSI-mallin 1. kerros) GPON:n tärkeimmät ominaisuudet ovat [2,11]:

- siirtonopeus: 1,24416 tai 2,48832 Gbit/s myötäsuuntaan ja 0,15552, 0,62208, 1,24416 tai 2,4416 Gbit/s paluusuuntaan
- aallonpituudet: 1260–1360 nm paluusuuntaan ja 1480–1500 nm myötäsuuntaan
- liikennetyypit: digitaalinen tietoliikenne myötä- sekä paluusuuntaan
- jakosuhte: enintään 64 riippuen verkon kokonaisvaimennuksesta
- passiivisen verkon vaimennus OLT:n ja ONU:n välillä, mukaan lukien kaikki vaimentavat tekijät:
 - Class A: 5–20 dB
 - Class B: 10–25 dB
 - Class C: 15–30 dB
- maksimietäisyys: 20 km 32 jaolla ja 10 km 64 jaolla

OSI-mallin mukaista siirtokerrosta (kerros 2) vastaava kerros on GPON:ssa nimeltään Transmission convergence layer (kuva 4.9). Se jakautuu vielä kahteen kerrokseen, joiden tehtävä on sovitus ja kehystäminen. Transmission convergence -kerros muodostaa ja prosessoi 125µs:n pituisia kehyksiä, joiden hyötykuormaan kuuluu kaksi osaa. Ensimmäinen on 53 tavun ATM-soluja sisältävä osa. Toisessa osassa on GEM-kapseloituja (GPON Encapsulation Method) ethernet-kehyksiä tai niiden osia tai vastaavasti SDH-kehyksiä sisältäviä osia. GEM pystyy lähettämään tarvittavan mittaisia, maksimissaan kuitenkin 1500 tavua pitkiä paketteja. Transmission convergence -kerros hoitaa kehystys- ja sovitustehtävien lisäksi myös liikennöinnin ohjaamiseen kuuluvia tehtäviä ja antaa myös ONU:ille tiedot milloin ne saavat lähettää (TDM).



Kuva 4.9 GPON-kehysrakenteen muodostuminen. [2]

Päätelaitteiden hallintaan käytetään OSI-mallin 2-kerroksella toimivaa OMCI-hallintajärjestelmää (ONT Management & Control Interface), jonka avulla pystytään vaihtamaan ja muokkaamaan esimerkiksi yhteyden palveluita. [2,12]

GPON verkon topologia mahdollistaa RF-signaalin kuten kaapeli-tv:n jakelun kuidulla helposti käyttäen samoja jaottimia.

GPON tukee OLT:n WAN-rajapinnassa esimerkiksi näitä siirtotekniikoita:

- SDH:n tasot STM-1,4 ja 16
- PDH:n tasot E1,E2 ja E3
- ATM
- Gigabit Ethernet IP-sovelluksineen

ONU:n tilaajarajapinnassa toimivat esimerkiksi nämä siirtotekniikat:

- SDH:n tasot STM-1 ja 4
- PDH:n tasot E1,E2 ja E3
- ISDN BRI ja PRI
- ATM
- Ethernet IP-sovelluksineen (internet, VoIP, VoD jne.)
 - 10Base-T
 - 100Base-T
 - 1000Base-T [2]

4.2.4 EPON

EPON eli Ethernet PON standardi IEEE 802.3 valmistui 2004 osana Ethernet First Mile -projektia. EPON-tekniikka mahdollistaa Ethernet-kehysten suoran siirtämisen operaattorin ja asiakkaan välillä Active Ethernetin tavoin periaatteessa ilman protokollamuunnoksia tai kehysten pilkkomista ja uudelleen kapselointia kuten BPON:ssa tai GPON:ssa. Lähetetty kehys ei kuitenkaan ole identtinen normaalin Ethernet-kehysten kanssa. Siirtonopeus on 1 Gbit/s molempiin suuntiin eli se ei yllä GPON:in nopeuden tasolle. Efektiivinen kaistanleveys ei yllä GPON:in tasolle. EPON:lla se on 75 % myötäsuuntaan ja 66 % paluusuuntaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että todellinen latausnopeus ei ole 1Gbit/s. Useimmat valmistajat lupaavat laitteilleen standardia nopeamman 1,25Gbit/s latausnopeuden. Verkon rakenne on esitetty kuvassa 4.10. [2,10]

EPON perustuu myös muiden PON-verkkojen tapaan yhden kuidun siirtotekniikkaan, jossa eri siirtosuunnat käyttävät eri aallonpituutta. Tyypillinen jakosuhte on 16, mutta mikäli vaimennusvaatimukset täyttyvät voidaan liittää jopa 32 ONUa. Kaikki OLT:n lähettämät Ethernet-kehukset siirtyvät samalla tavalla kaikille ONU:ille kuin muillakin TDM-tekniikoilla. ONU tunnistaa sille tarkoitetut paketit ja välittävät ainoastaan ne eteenpäin käyttäjän verkkoon. ONU saa luvan vastata OLT:lle vain tietyllä ajanhetkellä, kuten muissakin TDM-

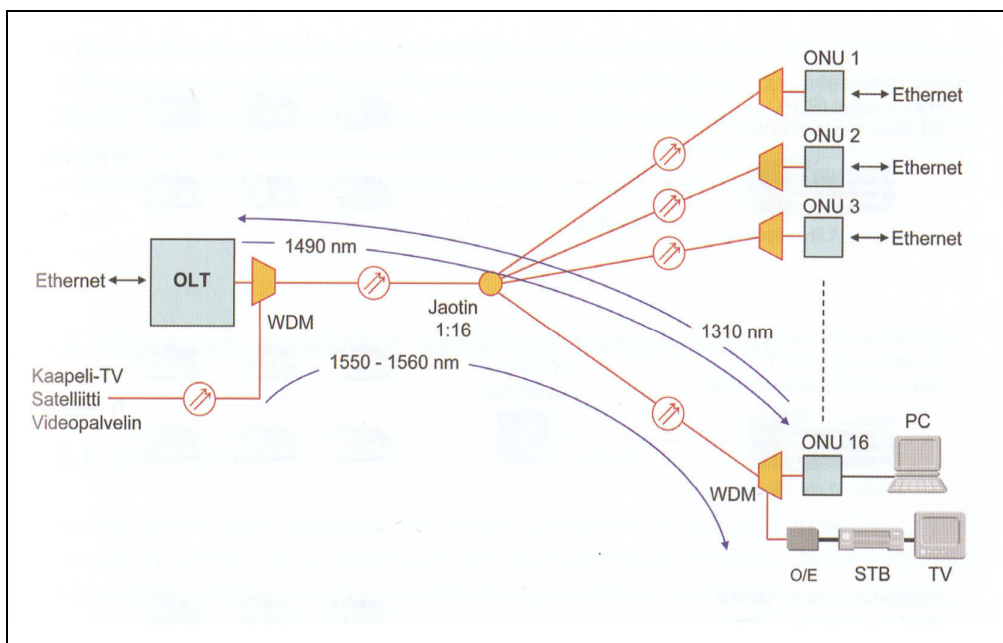
PON-tekniikoissa. EPON-standardi on määritely ainoastaan digitaalista tietoliikennettä varten, kuten nimenomaan Ethernet-kehysten siirtoa varten, mutta EPON verkon fyysistä rakennetta voidaan käyttää myös muihin sovelluksiin, esimerkiksi videosignaalien siirtoon, jolloin käytetään aallonpituusalueita 1550 - 1560 nm. [2,10]

Ethernet-tekniikka mahdollistaa mm. seuraavat sovellukset

- laajakaistaiset Internet-yhteydet
- IP-puhelut eli VoIP
- IP-televisio eli IPTV (digitaalinen)
- lukuisia muita IP-protokollaan perustuvia sovelluksia [2]

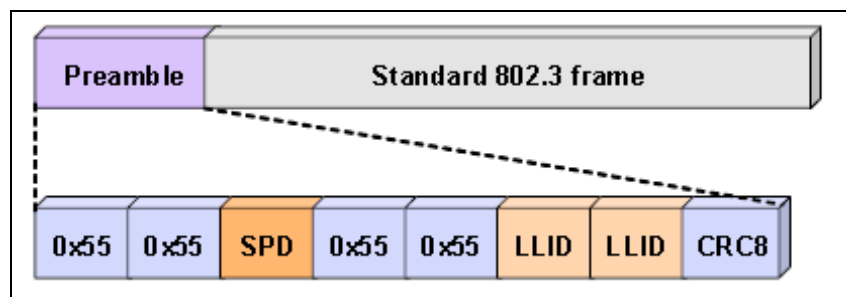
Fyysisellä kerroksella (OSI-mallin 1. kerros) EPON:n tärkeimmät ominaisuudet ovat [2]:

- siirtonopeus: 1 Gbit/s myötäsuuntaan ja paluusuuntaan
- 1000BASE-PX10
 - aallonpituudet: 1320 nm paluu- ja 1490 nm myötäsuuntaan
 - maksimietäisyys: 10 km
 - maksimivaimennus: 20 dB paluu- ja 19,5 dB myötäsuuntaan
 - minimivaimennus: 5 dB
- 1000BASE-PX20
 - aallonpituudet: 1320 nm paluu- ja 1490 nm myötäsuuntaan
 - maksimietäisyys: 20 km
 - maksimivaimennus: 24 dB paluu- ja 23,5 dB myötäsuuntaan
 - minimivaimennus: 10 dB



Kuva 4.10 EPON-verkon periaatteellinen rakenne [2]

EPON-kehys perustuu normaaliin Ethernet-kehykseen ja on samanlainen kuin standardoidussa Gigabit-Ethernetissä kahdeksaa ensimmäistä tavua lukuun ottamatta, jotka ovat EPON:ssa erilaisia. EPON-kehys on esitetty kuvassa 4.11 Näihin tavuihin sisältyy esimerkiksi Start of Packet Delimiter eli SPD ja kahden tavun mittainen Logical Link Identification eli LLID. Näissä tavuissa kulkevat esimerkiksi ONU:n synkronointi- ja tunnistetiedot. EPON:in Multi-point Medium Access Control (MAC) perustuu Ethernetin vastaavaan MAC-alikerrokseen ja mahdollistaa esimerkiksi dynaamisen kaistan nopeuden säätämisen. Paluusuuntaan lähetettyjä paketteja ohjaa Multi-Point Control Protocol eli MPCP. Tämä protokolla käyttää 64-bittisiä MAC ohjausviestejä, jotka sisältävät tietoa esimerkiksi kaistan tarpeesta tai ONU:n tilasta.[2,3]



Kuva 4.11 EPON-kehyksen rakenne [13]

4.3 WDM-PON

WDM-PON on uusiin passiivinen tekniikka, joka perustuu taajuus-jakoiseen lähetykseen ja vastaanottoon (Wavelength-division Multiplexing). WDM-PON:sta ei toistaiseksi vielä ole valmista standardia, mutta se on tällä hetkellä työn alla monien valmistajien toimesta. WDM-PON on tällä hetkellä huomattavasti valmiita TDM-tekniikoita kalliimpi, mutta sillä saatavat nopeudet vastaavat Active Ethernetillä toteutettujen yhteyksien nopeuksia. Joidenkin tahojen mielestä tämä on ainoa järkevä seuraava askel GPON-tekniikasta.

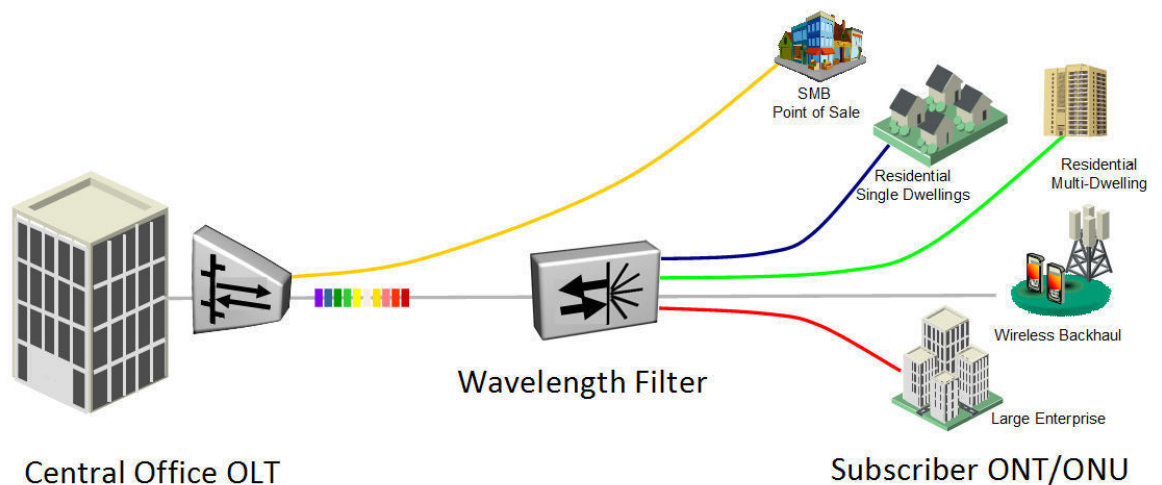
"The catch is that GPON won't meet the long-term bandwidth requirements of enterprises and consumers. That's one of reasons for growing service provider interest in Wave Division Multiplexing PON (WDM-PON), which is more efficient from both a bandwidth and financial perspective. WDM-PON provides a nearly future-proof solution because its initial per-subscriber capacity of 1 Gbps is more than enough to support the most bandwidth-intensive applications and services, such as high-definition video."

– Upgrade Strategies for GPON, ADC Telecommunications Inc 2008

4.3.1 Rakenne ja ominaisuudet

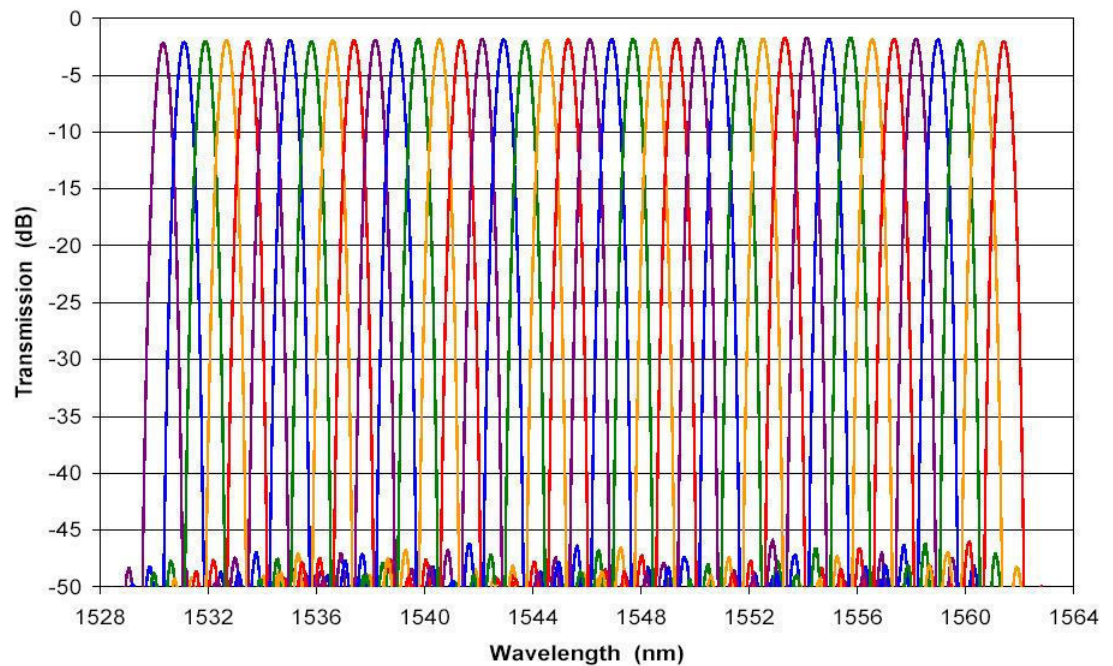
OLT:stä riippuen 100–1000 Mbit/s symmetrinen tiedonsiirto on mahdollista yhtä aallonpituutta eli yhtä asiakasta kohden. Kuten aiemmin selvisi, GPON:ssa 2,4 Gbit/s myötäsuntaa voitiin jakaa jopa 64 tilaajan kesken, jolloin tiedonsiirtonopeus yhtä tilaajaa kohden ei yllä läheskään samalle tasolle. Toisin

kuin TDM:ssä, syöttökuidun kapasiteetin jakaminen tapahtuu taajuusjakoisesti käyttämällä passiivisia AWG-suodattimia (arrayed waveguide grating). Operaattorilta lähetetty signaali ohjataan tilaajalle käyttäen yhtä tai useampaa passiivista AWG-suodatinta. Suodatin suodattaa ONU:lle OLT:n lähettämästä laajakaistaisella 1530–1560 nm alueella olevista signaaleista pois kaikki muille käyttäjille tarkoitetut aallonpituudet ja tuloksena ONU vastaanottaa vain sille tarkoitetun kapean aallonpituusspektrin. Verkon rakenne on esitetty kuvassa 4.12 ja esimerkki AWG-spektristä on esitetty kuvassa 4.13. [5,9,11]



Kuva 4.12 WDM-PON-verkon periaatteellinen rakenne [9]

Verkkorakenne vastaa P2P-rakennetta, vaikka signaali jaetaankin yhtä syöttökuitua pitkin. Tilaajat on fyysisellä tasolla erotettu toisistaan, joten signaali ei kulkeudu muiden samassa syöttökuidussa olevien asiakkaiden ONU:ihin. Tämän takia toiselle tilaajalle kuuluvan signaalin kaappaaminen toisesta syöttökuidun haarasta ei ole edes teoriassa mahdollista kuten edellä mainitussa TDM-PON:ssa. Tämä ominaisuus parantaa WDM-PON:n tietoturvallisuutta. [5,9,11]



Kuva 4.13 Esimerkki AWG-spektristä [5]

Tärkeimmät WDM-PON:n ominaisuudet ovat:

- symmetrinen kaista, 100 Mbit/s tai 1 Gbit/s molempiin suuntiin
- tietoturva, tilaajien dataliikenne fyysisesti erillään toisistaan
- helppo käyttöönotto, värittömät eli aallonpituudesta riippumattomat ONU:t ja automaattinen aallonpituuden valinta
- passiivinen järjestelmä OLT:ltä ONU:lle [11]

WDM-PON järjestelmän standardissa suunniteltu aallonpituuksien käyttö on esitetty alla taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1 WDM-PON-järjestelmän tulevan standardin aallonpituudet [11]

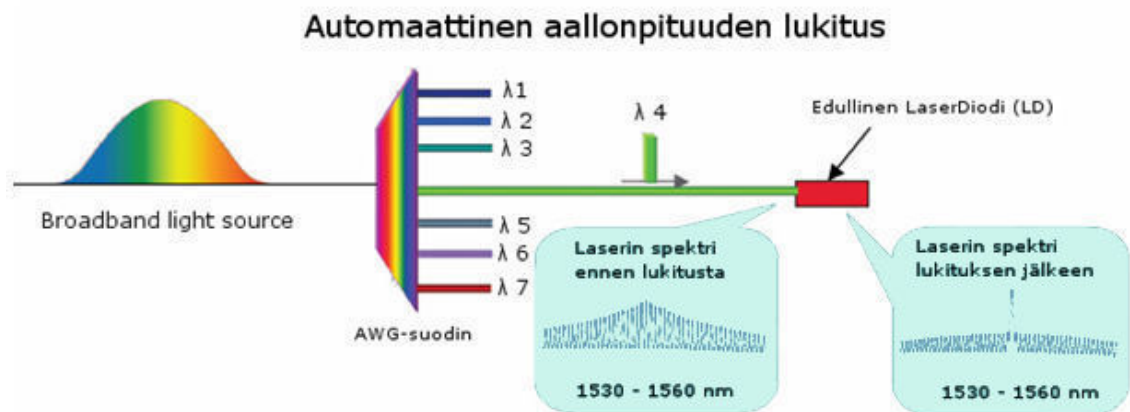
	Downstream			Upstream		
Minimum channel spacing	194.7 GHz	97.35 GHz	48.675 GHz	200 GHz	100 GHz	50 GHz
Minimum central frequency	187.4234 THz 1599.49 nm	187.4234 THz 1599.49 nm	187.4234 THz 1599.49 nm	192.4 THz 1558.17 nm	192.4 THz 1558.17 nm	192.4 THz 1558.17 nm
Maximum central frequency	190.3439 THz 1575.04 nm	190.4413 THz 1574.21 nm	190.49 THz 1573.79 nm	195.4 THz 1534.25 nm	195.5 THz 1533.46 nm	195.55 THz 1533.07 nm
Spectral excursion	± 40 GHz	± 20 GHz	± 10 GHz	± 40 GHz	± 20 GHz	± 10 GHz
Total number of supported channels	16	32	64	16	32	64

4.3.2 Automaattinen aallonpituuden lukitus

ONU halutaan saada ns. värittömäksi, eli riippumattomaksi vastaanotetusta aallonpituudesta, tällöin saadaan yksi laite toimimaan koko järjestelmän aallonpituusspektrin alueella ja jokaista aallonpituutta varten ei tarvita erilaista ONU:a. Tämä ominaisuus laskee myös ONU:n valmistuskustannuksia. Siksi ONU:hin on lisätty AWL-ominaisuus (Automatic Wavelength Locking), joka pystyy valitsemaan vastaanotetun signaalin aallonpituuden perusteella oikean aallonpituuden paluusignaalia varten (kuva 4.14). Automaattista aallonpituuden lukitusta tukevat tällä hetkellä ainakin LG-Nortelin järjestelmät, mutta luultavasti tämä ominaisuus tulee luultavasti olemaan välttämätön ominaisuus myös muiden valmistajien järjestelmissä. [9]

OLT:n lähettämä BLS-signaali (Broadband Light Source), jakautuu osiin (engl. slices) AWG-suodattimen avulla. Edullisilla laserdiodeilla varustettu ONU vastaanottaa yhden osan OLT:n lähettämästä aallonpituusspektristä ja säätää silloin oman laserdiodinsa lähettämään oikeaa aallonpituutta. Tämä toiminto perustuu laserdiodin ominaisuudelle moduloida, vahvistaa ja heijastaa sen vastaanottamaa valolähdettä. Lukituksen jälkeen laserdiodin spektri muistuttaa

hieman DFB-laserin spektriä. Tällöin paluusignaali pääsee kulkeutumaan takaisin suotimen läpi OLT:lle. Tämä tarkoittaa sitä, että laitetta ei tarvitse etukäteen konfiguroida vaan se voidaan suoraan liittää kuidun päähän jolloin laite hakee itse oikean aallonpituuden ja asetukset OLT:ltä. Tämän ns. Plug and Play -asennuksen ansiosta asiakas pystyy myös itse asentamaan laitteen (vertaa esim. ADSL-modeemi). [9]



Kuva 4.14 AWL toimintaperiaate [9]

5 Passiivisen jakeluverkon toteuttaminen

Tässä kappaleessa käydään läpi miten on mahdollista toteuttaa jakeluverkko käyttäen passiivista verkkorakennetta. Liitteessä 1 on suunnitelma passiivisesta kuituverkosta. Tässä suunnitelmassa runkokuittujen määrä on tarvittavaa suurempi, koska verkko haluttiin rakentaa siten, että sen pystyy tarvittaessa muuttamaan aktiiviseksi tai laajentamaan. Jakokaappeja (kuva 5.1) on yleensä yksi kuutta tilaajaa kohden, jotta kuitukaapelit saadaan päätettyä järkevästi. Mikäli jakokaappiin tulee liian paljon tilaajakaapeleita, tulee sen käsittelystä hyvin vaikeaa.



Kuva 5.1 Jakokaappi tilaajien kuitujen päättämistä varten

Jakamoissa runkokuidut ja tilaajakuidut on päätetty paneeliin, jolloin tilaajat on helppo kytkeä jaottimesta. Paneeli mahdollistaa myös yhteyden muuttamisen myöhemmin aktiiviseksi, mikäli asiakas tarvitsee suurempia nopeuksia (esim. yritysliittymä). Paneeleita on myös helppo lisätä, jos verkkoa laajennetaan ja jakamoon tuodaan uusi kuitu tilaajilta. Verkko on mahdollista toteuttaa tätä tapaa halvemmalla mm. poistamalla paneelit. Tämä tosin hankaloittaa muutostöitä ja yhteyksien tutkaamista vikatilanteiden sattuessa.

Suunnitelmassa kuidut tullaan kaivamaan maahan, jolloin suurin kustannus syntyy itse kaivamisesta. Passiivisella tekniikalla pystyy halutessaan säästämään paljon, kun pystytään esimerkiksi vetämään pieniä runkokuituja ilmassa valmiina oleviin pylväslinjoihin. Tämä on hyvä ratkaisu varsinkin jos kaivaminen tulee kalliiksi tai ei yksinkertaisesti ole mahdollista. Kuitujen päättäminen ja hitsaaminen on myös kallista. Passiivinen rakenne tarvitsee yleensä vähemmän hitsauksia.

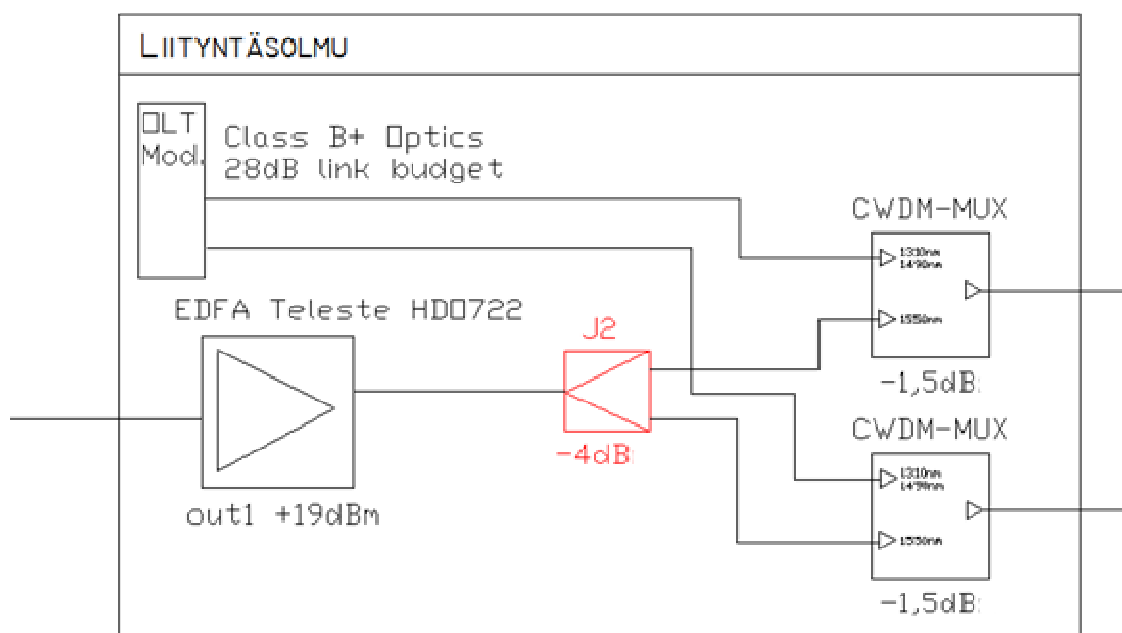
Lisäksi säästöä syntyy, kun operaattori ei tarvitse läheskään niin paljon aktiivisia laitetiloja, josta syntyy huomattavaa säästöä myös pitkällä aikavälillä.

5.1 Keskitin

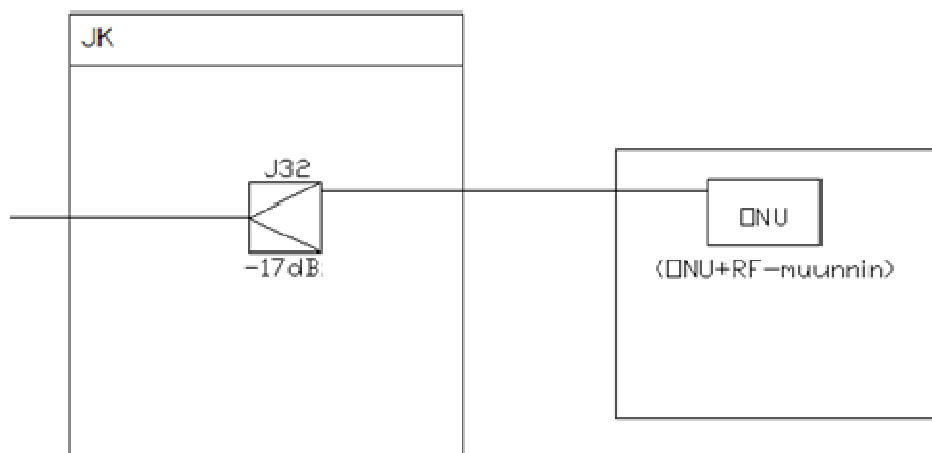
Operaattorin liityntäsolmuun asennetaan OLT. Käytettäessä esimerkiksi GPONia, voidaan käyttää samaa kuitua KTV-signaalin välittämiseen eteenpäin. Tässä tapauksessa KTV- ja GPON-signaalit yhdistetään samaan kuituun multiplekserin avulla, ennen kuidun liittämistä paneeliin. Paneeliin on liitetty myös jakamon runkokaapeli (kuva 5.2). Liittiminä tulisi käyttää APC-hiottuja liittimiä paremman heijastusvaimennuksen saavuttamiseksi. Huomioitavaa on, että runkoyhteydestä jakamoon tarvitaan käyttöön vain yksi kuitu. Tämä on hyvä ratkaisu varsinkin, jos valmiiden runkokuitujen määrä on hyvin rajallinen tai uusi kaapeli on esimerkiksi pakko vetää ilmaan, jolloin suuret kaapelit eivät ole suositeltavia.

5.2 Jakamo

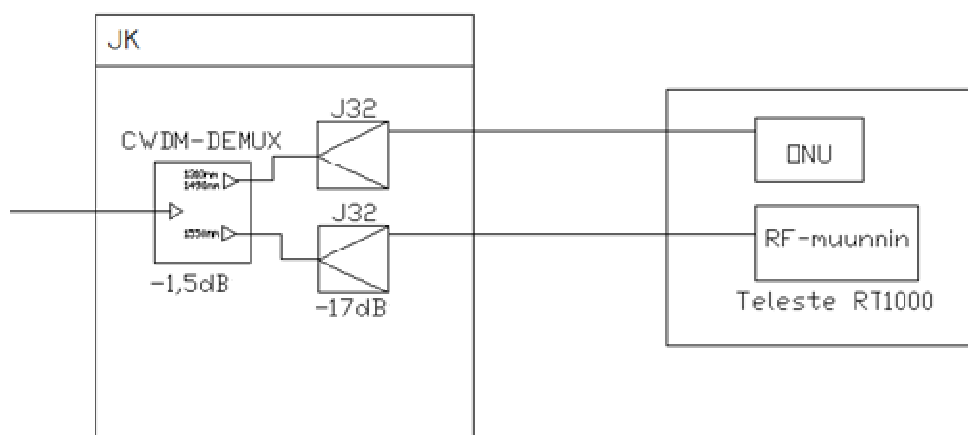
Jakamon rakenne on hyvin yksinkertainen. Jakamoon tulee ainoastaan passiivisia komponentteja, joten se ei tarvitse lainkaan sähkönsyöttöä. Kuvassa 5.3 tilaajalle toimitetaan KTV- ja GPON-signaali käyttäen ainoastaan yhtä kuitua koko matkan tilaajan ONU:lle. Kuvassa 5.4 KTV- ja GPON-signaali erotetaan jakamossa ja molemmat viedään tilaajalle omassa kuidussaan. Yhteyksien tutkaamista varten jakamoon tulevat ja lähtevät kuidut on hyvä päättää paneeliin. Tämä mahdollistaa myös yhteyksien helpon uudelleenkytkemisen.



Kuva 5.2 Esimerkki liityntäsolmun kytkennästä (GPON)



Kuva 5.3 Jakamo



Kuva 5.4 Jakamo

5.3 Esimerkkilaskelma linkkibudjetista

GPON-moduulin linkkibudjetti on noin 28 dB käytettäessä luokan B+ laserlähettämiä. Mikäli halutaan viedä myös RF-signaali (KTV) samassa kuidussa, se muodostuu kuitenkin ratkaisevaksi tekijäksi signaalin laatuvaatimuksen takia. Siksi on myös suositeltavaa käyttää APC-hiottuja liittimiä. Alla on laskettu linkkibudjetti yhdelle tapaukselle (ks. liite 2). Ennen sitä käydään läpi muutamia laskuissa käytettyjä laitteita. [11,6,14,15]

Teleste HDO700P – lähetin

HDO700P (kuva 5.5) on ulkoisesti moduloitu lähetin. Ulkoisella moduloinnilla varmistetaan signaalin laatu, mikäli EDFA halutaan sijoittaa mahdollisimman kauas. Mikäli välimatka ei ole suuri, voidaan helposti käyttää halvempaa sisäisesti moduloitua lähetintä. Linkkibudjetin laskemisen kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat taulukossa 5.1



Kuva 5.5 Teleste HDO700P [15]

Taulukko 5.1 HDO700P ominaisuuksia [15]

Wavelength	1550 \pm 10 nm
P _{out} (Opt)	7,5 dBm
P _{in}	75...84 dB μ V
RIN	-160 dBc/Hz

Teleste HDO722 – EDFA

HDO722 (kuva 5.6) on optinen vahvistin, jota käytetään optisen signaalin tason nostamiseen. Sitä on saatavana kahdella, kolmella tai neljällä ulostulolla. Linkkibudjetin kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2 HDO722 ominaisuuksia [15]

Wavelength	1550 \pm 10 nm
P _{out} Max (Opt)	+19 dBm (2 outputs)
P _{in} (Opt)	-10...+5 dBm
Noise figure	<5 dB



Kuva 5.6 Teleste HDO722 [15]

Teleste RT1000 – RF-muunnin

RT1000 (kuva 5.7) on asiakkaan kiinteistöön tuleva RF-muunnin, joka muuttaa optisen signaalin sähköiseksi. Tämä mahdollistaa laitteen liittämisen asiakkaan omaan antenniverkkoon. Automaattinen tasonsäätö säätää lähtötason aina samaan, mikäli tuleva signaali on oikeiden rajojen sisällä. Linkkibudjetin laskemiseen tarvittavia ominaisuuksia on taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3 RT1000 ominaisuuksia [15]

Wavelength	1260...1620 nm
P_{out}	+84 dB μ V
$P_{in(Opt)}$	-10...-3 dBm



Kuva 5.7 Teleste RT1000 [15]

Lasketaan optinen RF-linkkibudjetti ilman jaottimia ja välimatkan vaikutusta:

$$P_{TX} - P_{RX} = L_{FS}$$

P_{TX} = lähetetty signaalitaso

P_{RX} = vastaanotettu signaalitaso

L_{FS} = suurin sallittu vaimennus

$$19 \text{ dBm} - (-10 \text{ dBm}) = 29 \text{ dB}$$

Näistä laskelmista selviää, että RF-puolen linkkibudjetti on noin 29 dB. Tämä on noin 1 dB enemmän kuin GPON-moduulilla, jossa on luokan B+ laser. Liitteestä 2 näemme koko laskelman eräälle tapaukselle. Halutessa EDFA:sta saadaan lisää lähtöjä, kun asenetaan jaotin sen perään. Tämä tosin verottaa linkkibudjettia noin 4 dB (jako 2). Ensimmäiseksi yhdistetään RF-signaali GPON-signaalin kanssa CWDM:n avulla. Tämä vaimentaa noin 1,5 dB. Tämän jälkeen runkoyhteys jaetaan tilaajakuituihin, tässä tapauksessa jaettuna 32 tilaajalle. Jaotin vaimentaa tällöin noin 17 dB.

Lasketaan GPON-signaalin optinen linkkibudjetti ilman välimatkan vaikutusta:

$$P_{TX} - P_{RX} - L_M = L_{FS}$$

L_M = passiivisten laitteiden aiheuttama vaimennus

$$P_{TX} - P_{RX} = 28 \text{ dB}$$

$$28 \text{ dB} - 1,5 \text{ dB} - 17 \text{ dB} = 9,5 \text{ dB}$$

Lasketaan RF-signaalin optinen linkkibudjetti ilman välimatkan vaikutusta:

$$P_{TX} - P_{RX} - L_M = L_{FS}$$

$$19 \text{ dBm} - (-10 \text{ dBm}) - 1,5 \text{ dB} - 17 \text{ dB} = 10,5 \text{ dB}$$

Lasketaan kuidun maksimipituus, kun kuidun vaimennus noin 0,4 dB/km:

$$\frac{L_{FS}}{L_{km}} = D_{max}$$

L_{km} = kuidun vaimennus yhtä kilometriä kohden

D_{max} = kuidun maksimipituus

$$\frac{9,5 \text{ dB}}{0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}}} = 23,75 \text{ km}$$

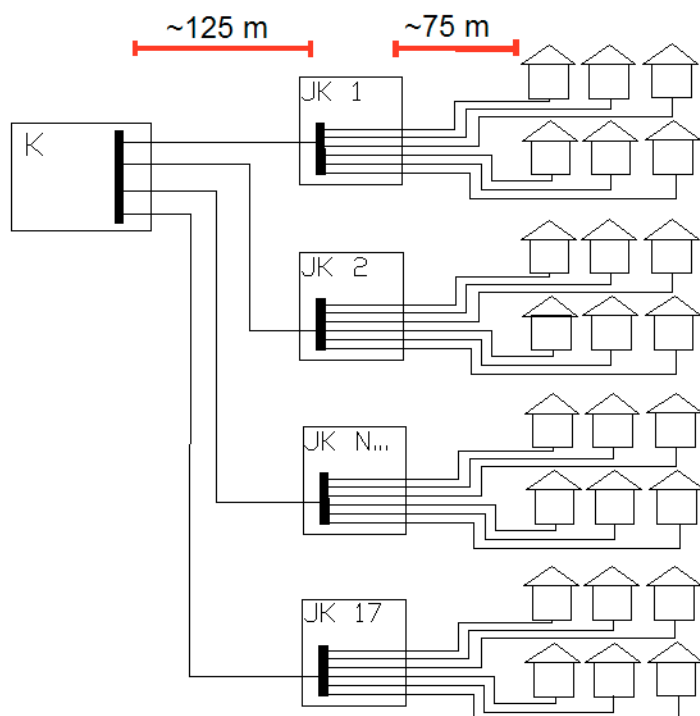
Tästä käy ilmi, että perustapauksessa GPON-signaalilla päästään helposti 20 km asti. Mikäli halutaan käyttää 64 jakoa, välimatka putoaa noin 10 km. Lisäksi tulee ottaa huomioon mahdolliset liittimien aiheuttamat vaimennukset.

5.4 Kustannukset

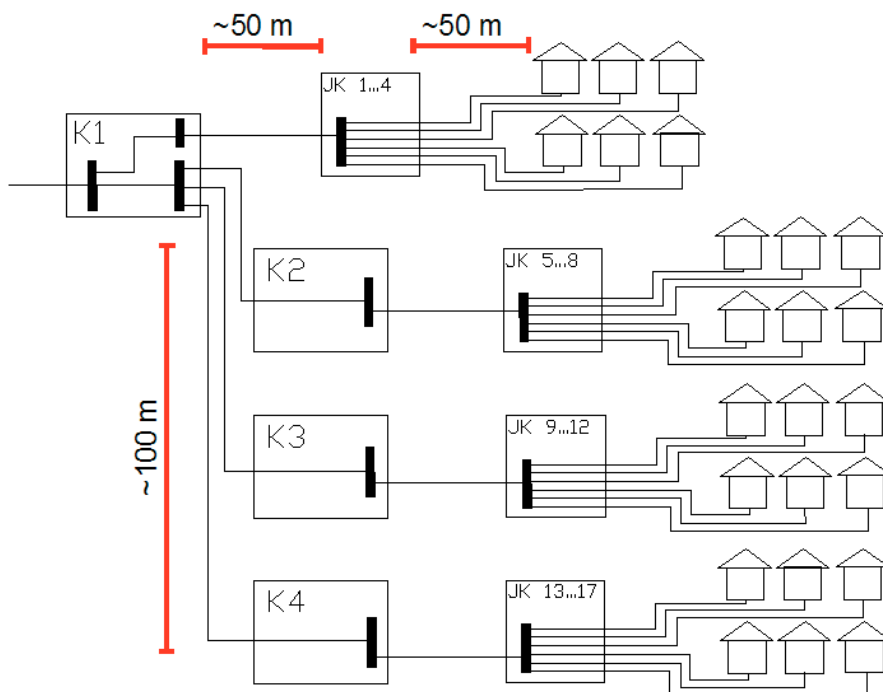
Käytetään esimerkkinä tapausta, jossa on tarkoitus rakentaa valokuituyhteydet asuinalueelle johon kuuluu 100 taloutta. Lähin operaattorin laitetilä on 10 kilometrin päässä asuinalueesta. Runkoyhteyden hinta on laskettu lähinnä havainnollistamaan kustannuseroja, jotka syntyvät kaapelin eri asennustavasta. Kaivamiskustannukset on laskettu molemmissa tapauksissa pahimman mahdollisen mukaan eli jokainen kaapeli tarvitsisi kaivaa yksitellen maahan. Laskelmat ovat liitteessä 3. Laskelmat ovat teoreettisia ja niiden tarkoituksena on lähinnä havainnollistaa aktiivisen- ja passiivisen verkon eroja.

Laskelmassa käytetty aktiivisen verkon rakenne on esitetty kuvassa 5.8. Asuinalueelle rakennetaan aktiivinen aluekeskitin, josta on lähimpään valmiiseen laitetilaan 10 km ja jokaiseen asuntoon keskimäärin 200 metriä. Asuntojen ja jakamon välissä on jakokaappeja tilaajakuitujen päättämistä varten. Aluekeskittimeltä (K) on keskimäärin 125 metriä jakokaapille (JK), johon talokaapelit päätetään. Talokaapelien keskimääräinen pituus on 75 metriä. Jakokaappeja on yhteensä 17. Tämä perustuu asuntojen lukumäärään.

Laskelmassa käytetty passiivinen rakenne on havainnollistettu kuvassa 5.9. Laskelmassa on oletettu, että asunnot eivät ole kaikki aivan yhdessä. Tämän takia passiivisen verkon aluekeskitin voidaan jakaa neljään pienempään keskittimeen. Tämän takia päästään entistä lähemmäksi asuntoja, jonka seurauksena syöttö- ja talokaapeleiden pituudet saadaan lyhyemmiksi. Tällä tavalla saadaan säästettyä kaivamiskustannuksissa ja kaapelien hinnassa. Myös aktiiviverkossa voidaan tehdä näin, mutta se kasvattaa kuitujen valmistelu- ja hitsaamiskustannuksia. Runkoyhteys valmiista laitetilasta tulee ensimmäiseen aluekeskittimeen (K1). Tästä keskittimestä yhteys jaetaan kolmeen muuhun aluekeskittimeen, joiden keskimääräinen etäisyys ensimmäisestä on 100 metriä. Aluekeskittimestä jakokaapille (JK) on keskimäärin 50 metriä ja talokaapeleiden keskimääräinen pituus on 50 metriä. OLT sijoitetaan operaattorin jo ennestään valmiiseen laitetilaan, joka sijaitsee 10 kilometrin päässä aluekeskittimestä.



Kuva 5.8 Aktiivisen verkon keskitetty rakenne



Kuva 5.9 Passiivisen verkon hajautettu rakenne

Laskelmista käy ilmi, että tässä tapauksessa passiivinen ratkaisu tulee tilaajaverkon osalta miltei 30 % halvemmaksi kuin aktiivinen ratkaisu. Huomattavin säästö syntyy aluekeskittimestä. Vaikka passiivisia keskittimiä on neljä yhden sijasta, ne ovat silti yhteensä halvempi ratkaisu kuin yksi aktiivinen aluekeskitin. Lisäksi aktiivisesta keskittimestä tulee enemmän ylläpitokustannuksia, kuten jäähdytys-, lämmitys- ja sähkökustannukset. Vaikka talokaapeleiden ja syöttökaapeleiden lyheneminen passiivisessa tapauksessa oli teoreettista, laskelma todistaa hajauttamisen vaikuttavan paljon kustannuksiin. Passiivisessa verkossa tämä on mahdollista ilman suuria ylimääräisiä kuitujatkoksia ja niistä johtuvia kustannuksia. Laskelmassa ei otettu huomioon kytkentäkuiduista syntyviä kustannuksia, mutta niistä syntyvät kustannukset ovat yhtä suuret toteutustavasta riippumatta.

Edullisemman hintansa lisäksi passiivinen verkko on helposti laajennettavissa. Mikäli haluttaisiin rakentaa yhteydet toiseen 100 asunnon asuinalueeseen, voitaisiin se tehdä samalla tavalla samasta laitetilasta käsin käyttäen samaa OLT:ä. Tällöin pitää vain hankkia uusi PON-kortti.

Aktiivisen verkon hyvänä puolena on sen laitteiston laajennettavuus kysynnän mukaan. Mikäli asiakkaita on vain vähän, voidaan aluksi esimerkiksi hankkia vain yksi kytkin.

6 Yhteenveto

Työn ensimmäinen vaihe oli tiedon kerääminen ja passiiviseen tekniikkaan tutustuminen käymällä tuote-esittelyissä ja seminaareissa. Paraisten Puhelin oli jo toteuttanut useita verkkoja aktiivisella tekniikalla, joten sen perusteet olivat tutut. Myös kirjallisuutta aktiivisista verkoista löytyi huomattavasti helpommin. Ensimmäisenä passiivisessa tekniikassa houkutteli alkutietojen perusteella sen halvempi hinta ja helppokäyttöisyys aktiiviseen verkkoon verrattuna. Passiivinen verkko on myös ekologisempi pienemmän sähkönkulutuksensa ansiosta. Näistä myöhemmin erityisesti ONT:n helppokäyttöisyys teki vaikutuksen. Samalla perehdyttiin myös tekniikan historiaan ja tulevaisuuden kehitykseen ja näkymiin. Passiivisen tekniikan tulevaisuus näyttää nyt huomattavasti paremmalta kuin vielä muutama vuosi sitten standardoinnin ja kasvavan yhteistyön takia.

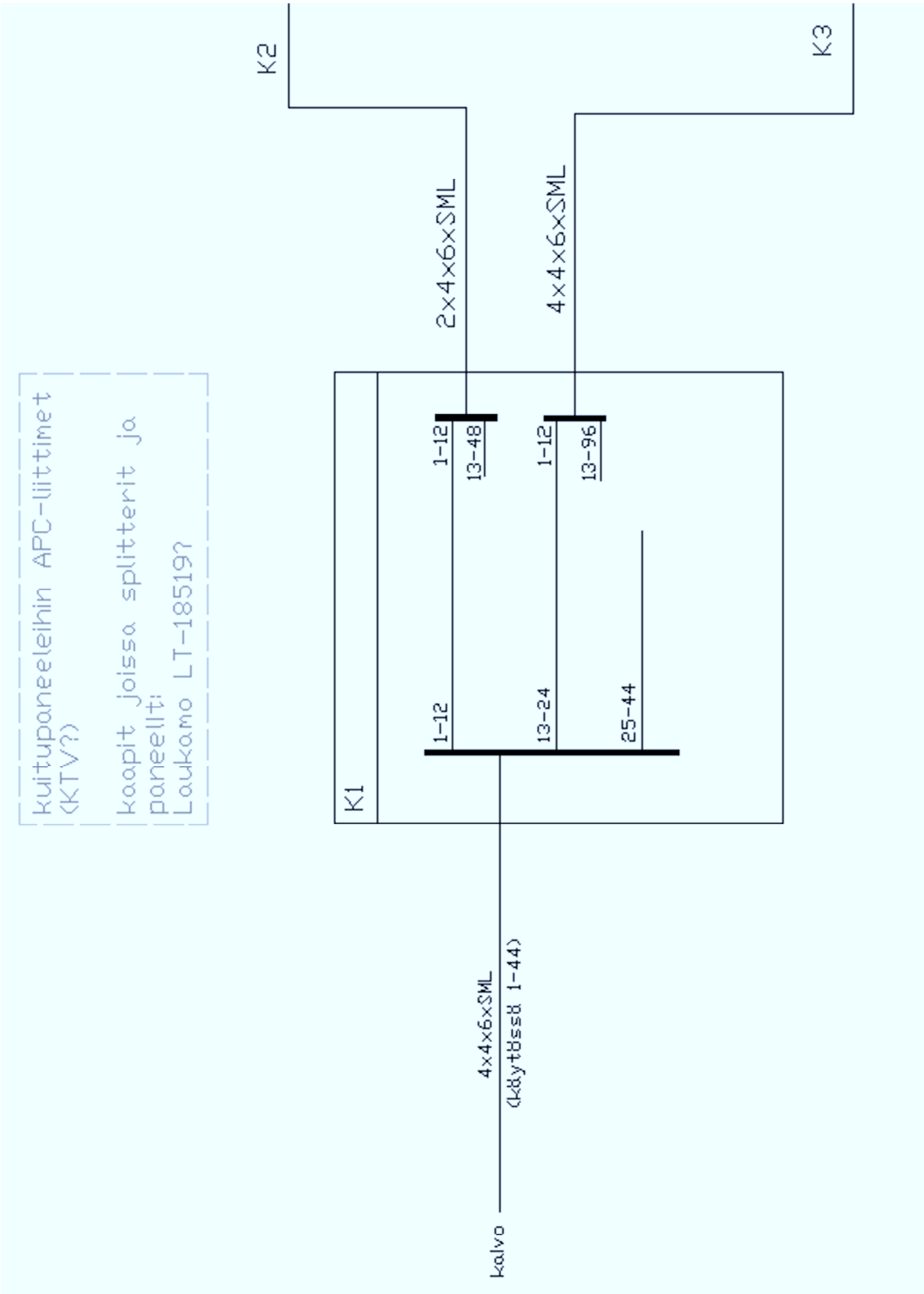
Seuraava vaihe oli tutkia mahdollisuuksia käytännön toteutukseen Paraisten Puhelimen verkossa. Eräälle asuinalueelle suunniteltiin GPON-verkko, jossa samoilla kuiduilla tilaajille toimitettaisiin myös kaapeli-tv. Suunnitelmiin kuului verkon kaavio, johtokartta ja linkkibudjettilaskelma. Linkkibudjettilaskelmasta kävi ilmi, että GPON saatiin helposti ulottumaan 20 km:iin asti ONT-yksiköstä. Yhdellä ONT:llä saadaan siis katettua haluttaessa hyvin suuri alue. Näiden suunnitelmien lisäksi suunniteltiin fyysisen verkon toteutusta, johon kuului mm. aluejakamoiden ja jakokaappien sisustaminen vaatimuksia vastaaviksi.

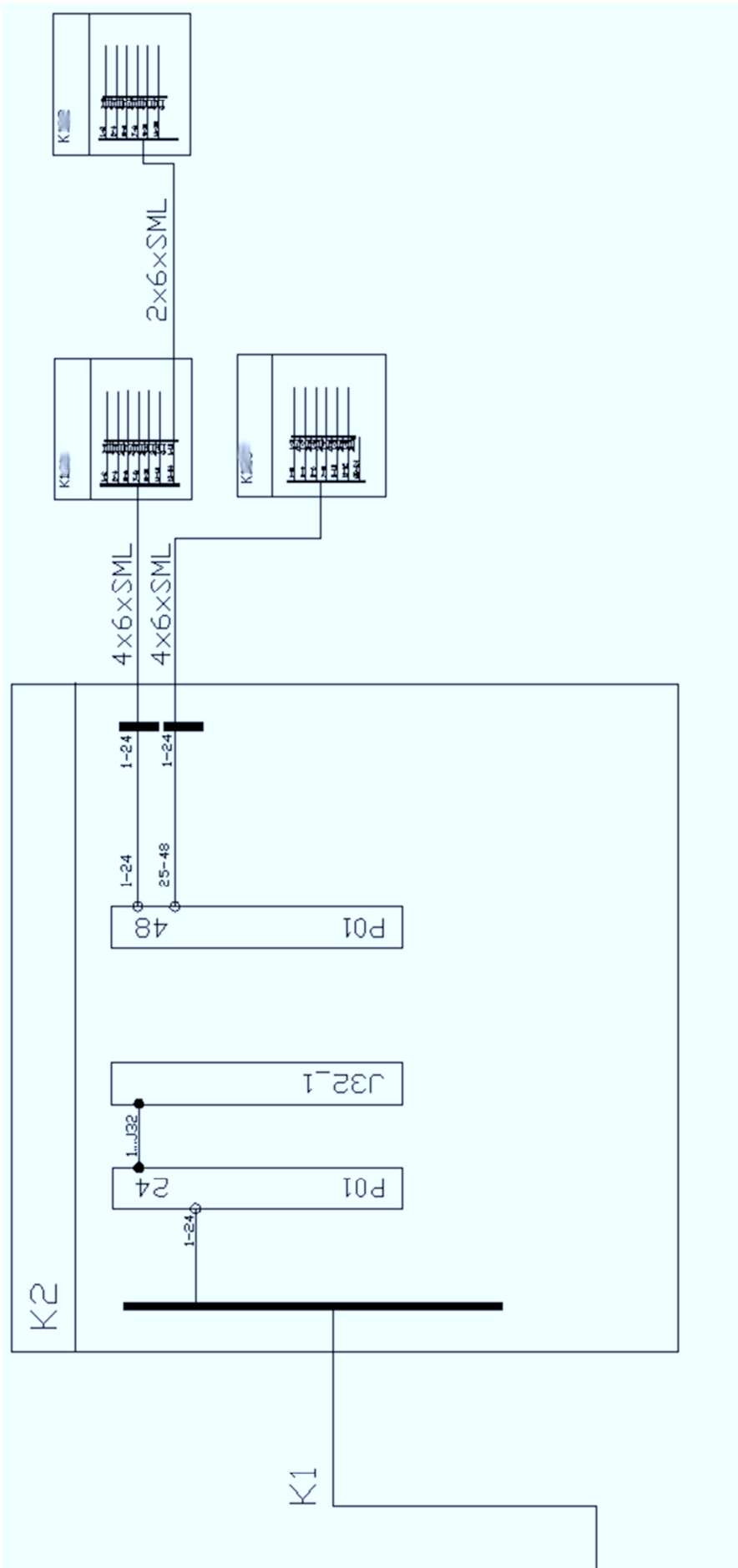
Työn viimeisessä vaiheessa tehtiin kustannuslaskelmat esimerkkitapausta käyttäen. Laskelmat olivat hyvin teoreettisia, mutta antoivat hieman suuntaa eroista passiivisen ja aktiivisen verkon rakennuskustannuksissa. Laskelmista kävi ilmi, että passiivinen verkko tulee aktiivista verkkoa esimerkkitapauksessa hieman alle 30 % halvemmaksi. Kolmasosakin tästä olisi huomattava säästö verkkoa rakennettaessa.

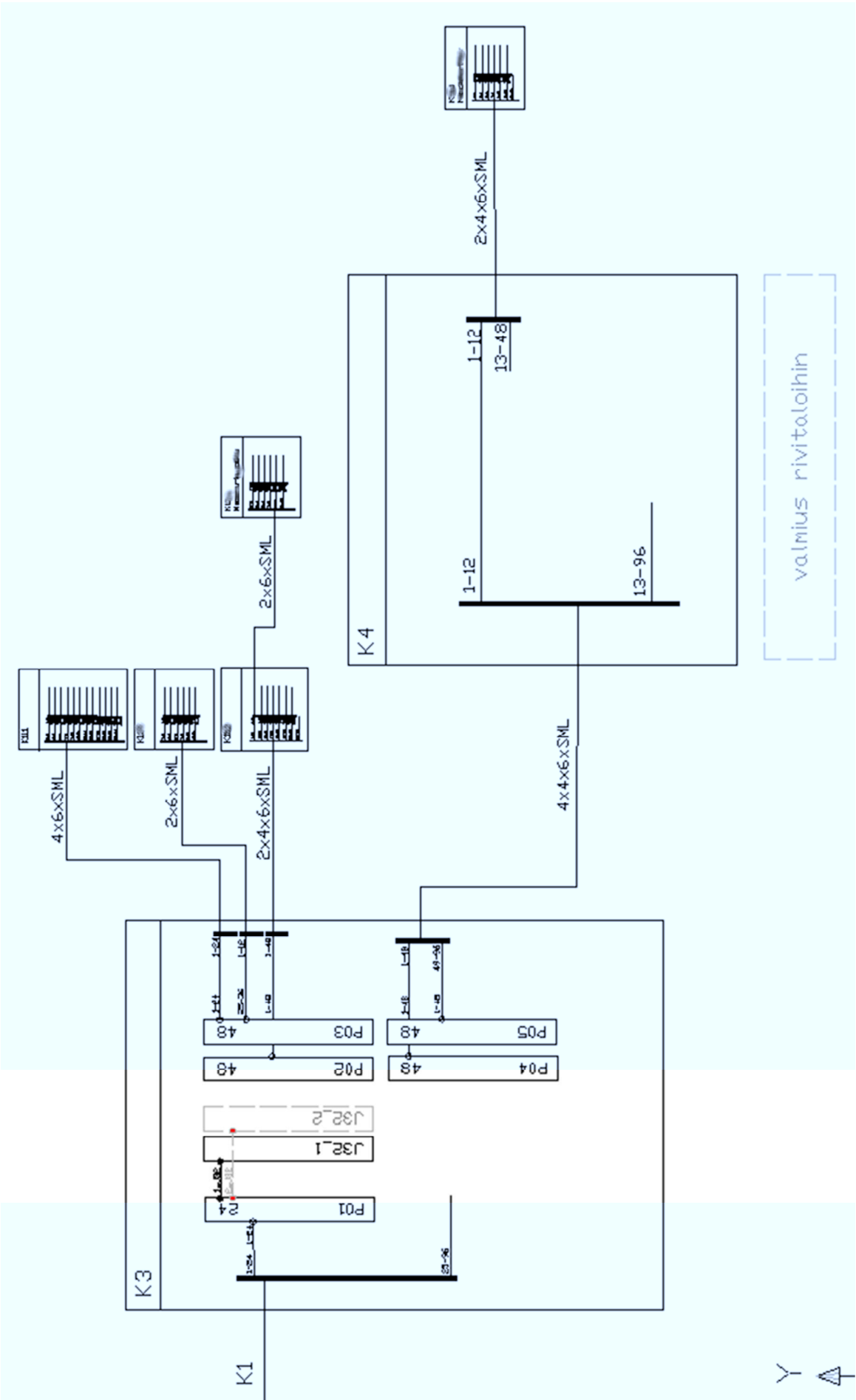
Tämän työn perusteella passiivisesta verkosta jäi hyvin positiivinen kuva ja sitä kannattaa ehdottomasti pitää yhtenä vaihtoehtona rakennettaessa uusia ja myös saneerattaessa vanhoja verkkoja.

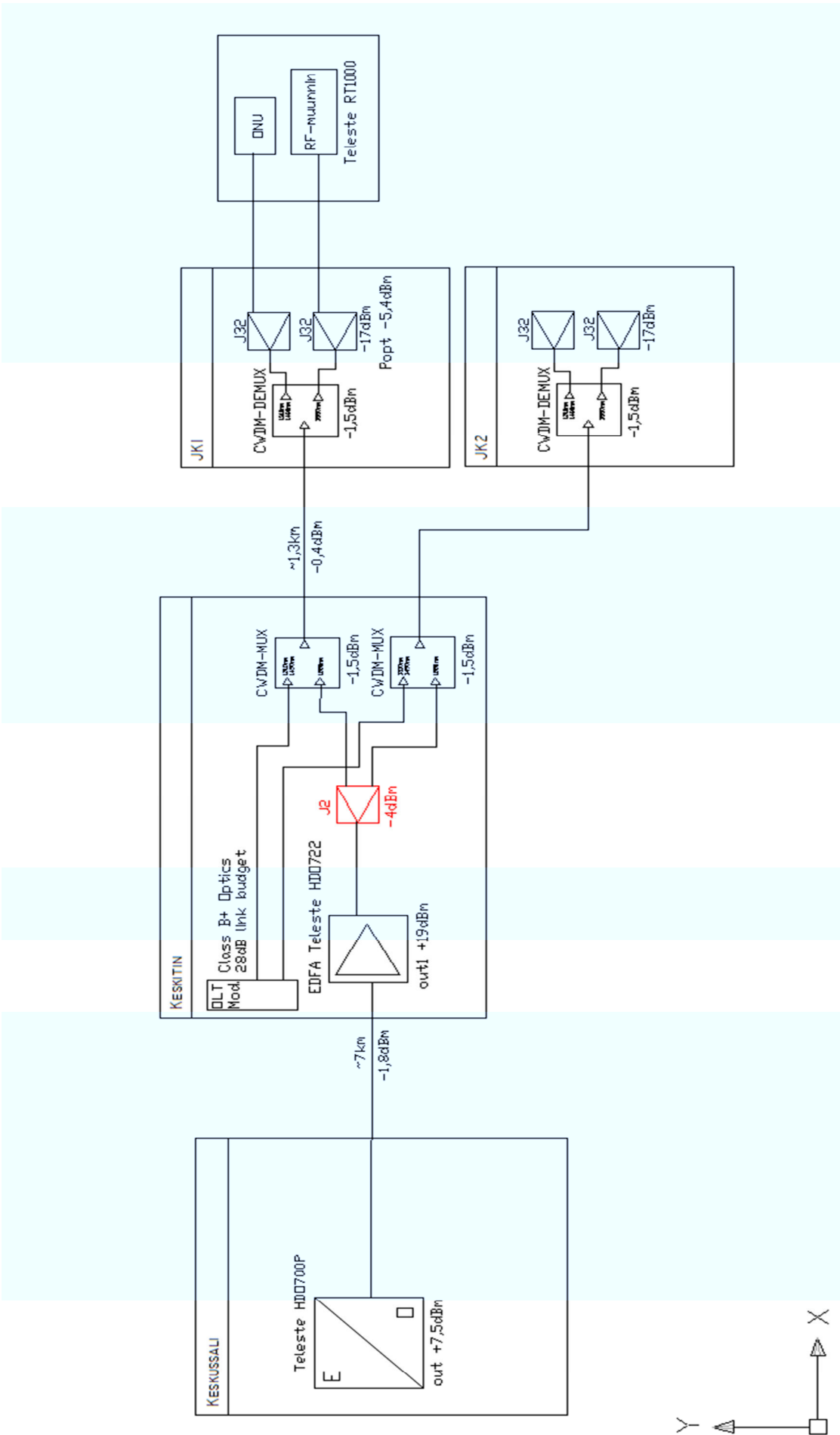
LÄHTEET

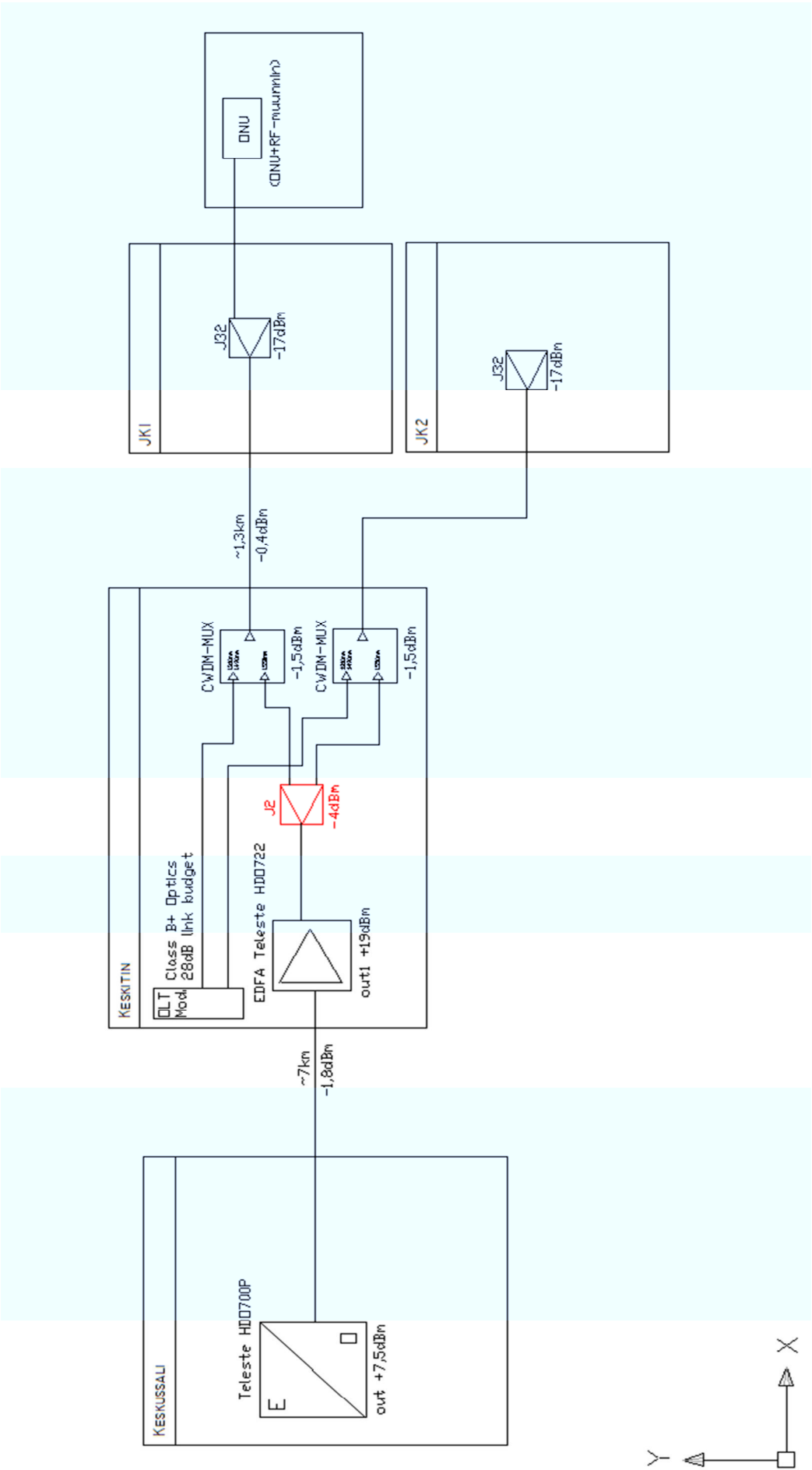
- [1] Viestintävirasto 2006. Työryhmäraportti Optiset liittävätverkot v2
- [2] Onninen OY 2008. Optiset liittävätverkot.
- [3] Webjulkaisu. Viitattu 31.8.2010
http://www.nevion.com/getfile.php/site/docs/Fibre_Tutorial.pdf
- [4] Webjulkaisu. Viitattu 23.11.2010 <http://www.yourdictionary.com/images>
- [5] Wikipedia.org. Viitattu 15.12.2009 http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_optical_network,
http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x#Active_optical_network,
http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x.
- [6] Motorola. AXS1800 - GPON Optical Line Terminal. Datalehti.
- [7] LG-Nortel. EAST1100 - GPON Optical Line Terminal. Datalehti.
- [8] Motorola. GPON –esitemateriaali
- [9] LG-Nortel. WDM-PON –esitemateriaali
- [10] Motorola. G-PON vs E-PON - Choosing today the optimum solution for FTTH. Julkaisu.
- [11] Harri Rätty, K&K Active OY 2009. WDM-PON –esitelmä.
- [12] Hirsimäki Janne 2009. Diplomityö. Gigabit-capable Passive Optical Network –tekniikka ja sen soveltuvuus liittävätverkkojen rakentamiseen.
- [13] Lallukka Sami & Raatikainen Pertti 2006. Passive Optical Networks - Transport concepts. VTT julkaisu. Viitattu 13.1.2010 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2006/P597.pdf>
- [14] Zhone. MXK – OLT. Datalehti
- [15] Teleste. KTV-laitteet –esitemateriaali.











<u>Aktiivinen verkko</u>	hinta	määrä	yht.	kommentit
runkoyhteys (kaivettu)				
kaivuu/metri	14,00 €	10000	140 000,00 €	
kaapelin lasku/m	0,60 €	10000	6 000,00 €	
kuitu 48xSML/m	1,32 €	10000	13 200,00 €	
			159 200,00 €	
runkoyhteys (ilmassa)				
tolppa+pystytys (50m)	250,00 €	200	50 000,00 €	
kiinnitys tolppaan	45,00 €	200	9 000,00 €	
kuitu 12xSML/m	1,17 €	10000	11 700,00 €	
			70 700,00 €	
runkoyhteys (aurattu)				
auraus/metri	2,00 €	10000	20 000,00 €	
kuitu 48xSML/m	1,32 €	10000	13 200,00 €	
			33 200,00 €	
jakokaapit				
maajakokaappi	400,00 €	17	6 800,00 €	
kaapin asennus	120,00 €	17	2 040,00 €	
			8 840,00 €	
syöttökaapelit (24xSML)				
kaivuu/m	14,00 €	2125	29 750,00 €	(keskipituus 125 m)
kaapelin lasku/m	0,60 €	2125	1 275,00 €	
kuitu 24xSML	0,92 €	2125	1 955,00 €	
syöttökaapelin valmistelu	110,00 €	17	1 870,00 €	
hitsaus/kuitu	9,00 €	408	3 672,00 €	
			38 522,00 €	
talokaapelit (4xSML)				
kaivuu/m	14,00 €	1275	17 850,00 €	(keskipituus 75 m)
kaapelin lasku/m	0,60 €	1275	765,00 €	
kuitu 4xSML	0,50 €	1275	637,50 €	
talokaapelin valmistelu	30,00 €	100	3 000,00 €	(jakokaapin pää)
hitsaus/kuitu	9,00 €	400	3 600,00 €	
			25 852,50 €	

jakamo/laitetila (aktiivinen)

laitetila	15 000,00 €	1	15 000,00 €
ristikytKentäteline	500,00 €	1	500,00 €
paneeli 48xSC 19"	60,00 €	10	600,00 €
hantäkuitusarja	24,00 €	10	240,00 €
kytkin 48+SFP-mod	5 400,00 €	2	10 800,00 €
kytkin 24+SFP-mod	3 100,00 €	1	3 100,00 €
runkokaapelin valmistelu	110,00 €	1	110,00 €
syöttökaapeli valmistelu	110,00 €	17	1 870,00 €
hitsaus/kuitu	9,00 €	456	4 104,00 €
			<u>36 324,00 €</u>

lisäkustannuksia

kieputuslevyt
kytkentäkuidut
hitsaustarvikkeet

yhteensä (ilman runkoyhteyttä)

jakokaapit	8 840,00 €
syöttökaapelit	38 522,00 €
talokaapelit	25 852,50 €
jakamo/laitetila	<u>36 324,00 €</u>
	109 538,50 €

runkoyhteys (kaivettu)	159 200,00 €
muut kustannukset	<u>109 538,50 €</u>
	268 738,50 €

runkoyhteys (ilmassa)	70 700,00 €
muut kustannukset	<u>109 538,50 €</u>
	180 238,50 €

runkoyhteys (aurattu)	33 200,00 €
muut kustannukset	<u>109 538,50 €</u>
	142 738,50 €

<u>Passiivinen verkko</u>	hinta	määrä	yht.	kommentit
runkoyhteys (kaivettu)				
kaivuu/metri	14,00 €	10000	140 000,00 €	
kaapelin lasku/m	0,60 €	10000	6 000,00 €	
kuitu 48xSML/m	1,32 €	10000	13 200,00 €	
			159 200,00 €	
runkoyhteys (ilmassa)				
tolppa+pystytys (50m)	250,00 €	200	50 000,00 €	
kiinnitys tolppaan	45,00 €	200	9 000,00 €	
kuitu 12xSML/m	1,17 €	10000	11 700,00 €	
			70 700,00 €	
runkoyhteys (aurattu)				
auraus/metri	2,00 €	10000	20 000,00 €	
kuitu 48xSML/m	1,32 €	10000	13 200,00 €	
			33 200,00 €	
jakokaapit				
maajakokaappi	400,00 €	17	6 800,00 €	
kaapin asennus	120,00 €	17	2 040,00 €	
			8 840,00 €	
syöttökaapelit (24xSML)				
kaivuu/m	14,00 €	850	11 900,00 €	(keskipituus 50 m)
kaapelin lasku/m	0,60 €	850	510,00 €	
kuitu 24xSML	0,92 €	850	782,00 €	
syöttökaapelin valmistelu	110,00 €	17	1 870,00 €	
hitsaus/kuitu	9,00 €	408	3 672,00 €	
			18 734,00 €	
talokaapelit (4xSML)				
kaivuu/m	14,00 €	850	11 900,00 €	(keskipituus 50 m)
kaapelin lasku/m	0,60 €	850	510,00 €	
kuitu 4xSML	0,50 €	850	425,00 €	
talokaapelin valmistelu	30,00 €	100	3 000,00 €	(jakokaapin pää)
hitsaus/kuitu	9,00 €	400	3 600,00 €	
			19 435,00 €	

jakamokaapelit (12xSML)

kaivuu/m	14,00 €	300	4 200,00 €	(keskipituus 100 m)
kaapelin lasku/m	0,60 €	300	180,00 €	
kuitu 12xSML	0,98 €	300	294,00 €	
jakamokaapelin valmistelu	110,00 €	3	330,00 €	(jakokaapin pää)
hitsaus/kuitu	9,00 €	48	432,00 €	
			5 436,00 €	

4x jakamo (passiivinen)

K1 jakokaappi	600,00 €	4	2 400,00 €	
jatkoskaappi	300,00 €	4	1 200,00 €	
32-splitteri	1 000,00 €	4	4 000,00 €	
paneeli 48xSC 19"	60,00 €	10	600,00 €	
häntäkuitusarja	24,00 €	10	240,00 €	
				(asennetaan olemassa olevaan laitetilaan)
GPON-laitteisto (4-GPON ports)	13 000,00 €	1	13 000,00 €	
runkokaapelin valmistelu	110,00 €	1	110,00 €	
syöttökaapelien valmistelu	110,00 €	17	1 870,00 €	
hitsaus/kuitu	9,00 €	456	4 104,00 €	
			27 524,00 €	

lisäkustannuksia

kieputuslevyt
kytkentäkuidut
hitsaustarvikkeet

yhteensä (ilman runkoyhteyttä)

jakokaapit	8 840,00 €
syöttökaapelit	18 734,00 €
talokaapelit	19 435,00 €
jakamokaapelit	5 436,00 €
jakamo/laitetila	27 524,00 €
	79 969,00 €

runkoyhteys (kaivettu)	159 200,00 €
muut kustannukset	79 969,00 €
	239 169,00 €

runkoyhteys (ilmassa)	70 700,00 €
muut kustannukset	79 969,00 €
	150 669,00 €

runkoyhteys (aurattu)	33 200,00 €
muut kustannukset	79 969,00 €
	113 169,00 €

